





**EDUCACIÓN**

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



## Instituto Tecnológico de León

*“Diseño Y Construcción De Un Sistema Multiagente  
Para La Atención De Población Vulnerable”*

Tesis

Que presenta:

María Isabel Ramírez Martínez

Para obtener el grado de

Maestro (a) en Ciencias de la Computación

Con la Dirección de:

Carlos Lino Ramírez

Y Co Dirección de:

Víctor Manuel Zamudio Rodríguez

Revisores

David Asael Gutiérrez Hernández (1er revisor)

Héctor José Puga Soberanes (2do revisor)

León, Gto. 21 de mayo del 202

León, Guanajuato, 07/julio/2021

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
OFICIO No. DEPI-110-2021

**ING. MARÍA ISABEL RAMÍREZ MARTÍNEZ  
PRESENTE**

De acuerdo al fallo emitido por la Comisión Revisora, integrada por los: Dr. Carlos Lino Ramírez, Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez, Dr. David Asael Gutiérrez Hernández, Dr. Héctor José Puga Soberanes considerando que llena todos los requisitos establecidos en los Lineamientos Generales para la Operación del Posgrado del Tecnológico Nacional de México, se autoriza la impresión del trabajo de tesis titulado: "Diseño y Construcción de un Sistema Multiagente para la atención de población vulnerable". Lo que hacemos de su conocimiento para los efectos y fines correspondientes.

**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica  
Ciencia Tecnología y Libertad

**DR. DAVID ASael GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ  
JEFE DE LA DEPI**



C.c.p. Expediente



2014-2022  
2017-2018-2019-2020

Av. Tecnológico s/n Fracc. Industrial  
Julián de Obregón C.P 37290  
León, Gto. México Tel. 01 (477) 7105200.  
e-mail: [tecleon@leon.tecnm.mx](mailto:tecleon@leon.tecnm.mx)  
[tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [leon.tecnm.mx](http://leon.tecnm.mx)



León, Gto., a 01 de julio del 2021

**C. ING. LUIS ROBERTO GALLEGOS MUÑOZ**  
**JEFE DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**PRESENTE**

Por este medio hacemos de su conocimiento que la tesis titulada "**Diseño y Construcción de un Sistema Multiagente para la Atención de Población Vulnerable**", ha sido leída y aprobada por los miembros del Comité Tutorial para su evaluación por el jurado del acto de examen de grado al alumno (a) **C. María Isabel Ramírez Martínez** con número de control **M19241058** como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro(a) en Ciencias de la Computación (MCCOM-2011-05).

Sin otro particular por el momento, quedamos de Usted.

**ATENTAMENTE**  
**COMITÉ TUTORIAL**

Dr. Carlos Lino Ramirez



**DIRECTOR**

Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez



**CODIRECTOR**

Dr. David Asael Gutiérrez Hernández



**REVISOR**

Dr. Héctor José Puga Soberanes



**REVISOR**



## DECLARACION DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo, María Isabel Ramírez Martínez identificada con No. control M19241058, alumno (a) del programa de la **Maestría en Ciencias de la Computación**, autor (a) de la Tesis titulada: "Diseño y Construcción de un Sistema Multiagente para la Atención de Población Vulnerable" DECLARO QUE:

1.- El presente trabajo de investigación, tema de la tesis presentada para la obtención del título de **MAESTRO (A) EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN** es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, ni citas completas "stricto sensu", así como ilustraciones, fotografías u otros materiales audiovisuales, obtenidas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc. en su versión digital o impresa.

2.- Declaro que el trabajo de investigación que pongo a consideración para evaluación no ha sido presentado anteriormente para obtener algún grado académico o título, ni ha sido publicado en sitio alguno.

3.- Declaro que las pruebas o experimentos derivados de esta investigación fueron realizados bajo el consentimiento de los involucrados y con fines estrictamente académicos conforme a criterios éticos de confidencialidad.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades de la tesis, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Asimismo, me hago responsable ante el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar por el incumplimiento de lo declarado.

De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello someténdome a las normas establecidas en los Lineamientos y Disposiciones de la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México.

León, Guanajuato a 08 del mes de julio de 2021

Nombre y firma del autor (María Isabel Ramírez Martínez)



## ACUERDO PARA USO DE OBRA (TESIS DE GRADO)

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por medio del presente escrito, María Isabel Ramírez Martínez hace constar que es titular intelectual de la obra denominada: "Diseño y Construcción de un Sistema Multiagente para la Atención de Población Vulnerable", en virtud de lo cual autoriza al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León (en lo sucesivo TECNMAT León) para que efectúe resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital o impresa para asegurar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de la misma con fines académicos y sin fines de lucro como parte del Repositorio Institucional del TECNMAT León.

De igual manera, es deseo del AUTOR establecer que esta autorización es voluntaria y gratuita, y que de acuerdo a lo señalado en la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de Propiedad Industrial el TECNMAT León cuenta con mi autorización para la utilización de la información antes señalada, estableciendo que se utilizará única y exclusivamente para los fines antes señalados. El AUTOR autoriza al TECNMAT León a utilizar la obra en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique se le conceda licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionada respecto a la "propiedad intelectual" de la misma OBRA; incluyendoto do tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes. Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir la OBRA se deberá reconocer y dar créditos de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el propio autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada de esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales del AUTOR.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general de cualquier parte de la OBRA son responsabilidad de AUTOR, por lo que se deslinda al (TECNMAT León) por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros. Finalmente, el AUTOR manifiesta que estará depositando la versión final de su documento de Tesis, OBRA, y cuenta con los derechos morales y patrimoniales correspondientes para otorgar la presente autorización de uso.

En la ciudad de León, del estado de GTO a los 08 días del mes de julio de 2021.

Atentamente,

Nombre y firma autógrafa de EL AUTOR

María Isabel Ramírez Martínez



## **Dedicatoria**

A...

Mi pareja, que es mi fuente de inspiración y apoyo, por hacer de mí la mujer que soy. Gracias por todo el apoyo y amor incondicional que siempre me has brindado.

Mis amigos de siempre, los que siempre han estado pendientes de mí y hacen mis logros, suyos.

Todas las personas que hacen posible la investigación en este hermoso país, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) que me permitió obtener una beca para la realización de este trabajo de investigación.

¡Muchas gracias por todo!

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer en primer lugar a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer por toda su ayuda, sus palabras motivadoras, sus consejos y su dedicación.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi asesor de proyecto el Dr. Carlos Lino Ramírez, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que pudiera desarrollar una clave de hechos que fueron imprescindibles para cada etapa de desarrollo del trabajo.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, en especial a mi pareja, quien con sus consejos fue el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por tu paciencia y comprensión, y sobre todo por tu amor.

¡Muchas gracias por todo!



# Índice General

RESUMEN .....	XI
SUMMARY .....	XII
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1. ....	MOTIVO DE LA INVESTIGACIÓN
1	
1.1. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	1
1.2. INTRODUCCIÓN .....	3
1.3. PROBLEMÁTICA .....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	5
1.5. HIPÓTESIS .....	7
1.6. OBJETIVOS.....	7
1.6.1. <i>Objetivo general</i> .....	7
1.6.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	7
1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	8
1.7.1. <i>Alcances</i> .....	8
1.7.2. <i>Limitaciones</i> .....	8
CAPÍTULO 2. ....	ESTADO DEL ARTE
10	
2.1. AMBIENTES INTELIGENTES.....	10
2.2. ASISTENTES.....	11
2.3. SMARTHOME.....	12

2.4.	INTERNET DE LAS COSAS.....	13
2.5.	NETWORKS .....	14
2.6.	LÓGICA DIFUSA .....	16
2.7.	TABLA COMPARATIVA.....	17
2.8.	LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS ANALIZADOS.....	28
CAPÍTULO 3. .... MARCO REFERENCIAL		
	30	
3.1.	ANTECEDENTES.....	30
3.1.1.	<i>Raspberry Pi</i> .....	30
3.1.2.	<i>Lógica difusa</i> .....	31
3.1.3.	<i>Multiagente</i> .....	33
3.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	34
3.2.1.	<i>Sensor</i> .....	34
3.2.2.	<i>Actuador</i> .....	35
3.2.3.	<i>Sistemas de monitoreo</i> .....	35
3.2.4.	<i>Multiagente</i> .....	36
3.2.5.	<i>Almacén de datos</i> .....	37
3.2.6.	<i>Etapas de potencia</i> .....	38
3.2.7.	<i>Señales de tensión</i> .....	39
3.2.8.	<i>Automatización</i> .....	39
3.3.	MARCO TEÓRICO .....	40
3.3.1.	<i>Estados de vulnerabilidad en las personas de la tercera edad</i> .....	40
3.3.2.	<i>Raspberry Pi 3</i> .....	44
3.3.3.	<i>Python</i> .....	49
3.3.4.	<i>Inteligencia Ambiental</i> .....	50
3.3.5.	<i>Internet de las Cosas</i> .....	53
3.3.6.	<i>Sensores y Actuadores</i> .....	54
3.3.7.	<i>Tecnologías de Comunicación Inalámbrica</i> .....	59
CAPÍTULO 4. .... DISEÑO DEL SISTEMA		
	64	

4.1.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO .....	64
4.2.	ESCENARIO DE LA SITUACIÓN PROBLÉMICA .....	66
4.3.	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PROPUESTO .....	68
4.3.1.	<i>Agente Inteligente</i> .....	68
4.3.2.	<i>Requisitos del proyecto</i> .....	68
4.4.	DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....	69
4.4.1.	<i>Proceso electrónico</i> .....	69
4.4.2.	<i>Diseño electrónico</i> .....	70
4.4.3.	<i>Diseño físico</i> .....	71
4.5.	DISEÑO DE LOS AGENTES.....	73
4.5.1.	<i>Agente 1: Mesa y Dispensador</i> .....	73
4.5.2.	<i>Agente 2: Isla auxiliar</i> .....	76
4.5.3.	<i>Agente 3: Isla de precaución</i> .....	78
4.6.	TECNOLOGÍA INALÁMBRICA .....	79
4.6.1.	<i>Interfaz de usuario y presentación de eventos</i> .....	80
CAPÍTULO 5. .... IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA		
81		
5.1.	ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA .....	81
5.2.	SECUENCIA DEL PROGRAMA EN PYTHON.....	82
5.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE 1 .....	84
5.4.	IMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE 2 .....	88
5.5.	IMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE 3 .....	89
5.6.	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA.....	90
CAPÍTULO 6. .... EXPERIMENTOS Y RESULTADOS		
92		
6.1.	COMPORTAMIENTOS DE LOS ALGORITMOS .....	92
6.1.1.	<i>Etapas de prueba</i> .....	92
6.1.2.	<i>Comunicación</i> .....	95
6.2.	RESULTADOS .....	97
6.2.1.	<i>Interacción en el mundo real</i> .....	98

6.2.2. <i>Video del Multi-Agente</i> .....	100
CAPÍTULO 7. ....	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
	101
7.1. APORTES A LA INVESTIGACIÓN .....	101
7.1.1. <i>Implicación práctica</i> .....	101
7.1.2. <i>Relevancia social</i> .....	102
7.1.3. <i>Utilidad metodológica</i> .....	102
7.2. LIMITACIONES DEL TRABAJO REALIZADO.....	102
7.3. PROPUESTA DE MEJORAS PARA TRABAJOS FUTUROS .....	103
REFERENCIAS.....	104
ANEXOS .....	I
APÉNDICE .....	XIX
<i>Artículo 1</i> .....	xix
<i>Artículo 2</i> .....	xxx

## Índice de tablas

Tabla 2.1 Ambientes Inteligentes .....	20
Tabla 2.2 asistentes .....	21
Tabla 2.3 SmartHome .....	23
Tabla 2.4 Internet de las cosas .....	24
Tabla 2.5 NetWorks .....	26
Tabla 2.6 Lógica Difusa .....	28

## índice de figuras

Figura 3.1: Raspberry Pi .....	30
Figura 3.2: Ejemplo de Lógica Difusa.....	32
Figura 3.3: Multiagente .....	33
Figura 3.4: Sensores.....	34
Figura 3.5: Actuadores.....	35
Figura 3.6: Sistema de monitoreo .....	36
Figura 3.7: Multiagente .....	37
Figura 3.8: Almacén de datos .....	38
Figura 3.9: Etapa de potencia .....	38
Figura 3.10: Señales de tensión.....	39
Figura 3.11: Automatización.....	40
Figura 3.12: Discapacidad motriz .....	41
Figura 3.13: Discapacidad auditiva .....	42
Figura 3.14: Discapacidad visual .....	42
Figura 3.15: Discapacidad visceral.....	43
Figura 3.16: Discapacidad intelectual.....	43
Figura 3.17: Raspberry Pi 3 modelo B .....	44
Figura 3.18: Conexiones de Raspberry Pi modelo B.....	46
Figura 3.19: Ejemplo de conexión de Raspberry Pi.....	47
Figura 3.20: Diferencia entre Raspberry Pi 2 y 3.....	48
Figura 3.21: Logotipo de Python .....	50

Figura 3.22: Ambiente inteligente.....	51
Figura 3.23: Agente inteligente .....	52
Figura 3.24: Internet de las cosas .....	53
Figura 3.25: Módulo flama.....	54
Figura 3.26: Módulo gas .....	55
Figura 3.27: Sensor DHT .....	56
Figura 3.28: Módulo relevador .....	57
Figura 3.29: Motor a pasos .....	58
Figura 3.30: Servomotor .....	59
Figura 3.31: Bluetooth.....	60
Figura 3.32: Wifi.....	61
Figura 3.33: Zigbee.....	62
Figura 4.1: Ambiente.....	70
Figura 4.2: Diseño electrónico.....	71
Figura 4.3: Diseño físico .....	72
Figura 4.4: Agente 1: Mesa .....	73
Figura 4.5: Medidas del agente 1: Dispensador .....	74
Figura 4.6: Diseño delantero del dispensador .....	75
Figura 4.7: Diseño trasero del dispensador.....	76
Figura 4.8: Circuito en Proteus de la Isla Auxiliar .....	77
Figura 4.9: Circuito de la Isla de Precaución .....	78
Figura 4.10: Comunicación inalámbrica .....	80
Figura 5.1: Diagrama de flujo del multiagente en su forma física .....	81
Figura 5.2: Diagrama de flujo del multiagente en Python .....	83
Figura 5.3: Conexiones internas del Agente 1 (la mesa) .....	85
Figura 5.4: Agente 1 (mesa), construcción en madera.....	86
Figura 5.5: Agente 1 (dispensador), construcción en madera .....	87
Figura 5.6: Isla Auxiliar en Protoboard .....	88
Figura 5.7: Isla de Precaución en Protoboard .....	89
Figura 5.8: Diagrama de flujo de la comunicación inalámbrica del multiagente .....	91
Figura 6.1: Agente 1.....	98
Figura 6.2: Agente 2.....	99
Figura 6.3: Agente 3.....	100

## Resumen

Actualmente, la sociedad cuenta con más filtros de envejecimiento y esto se hace porque: cada año aumenta la cantidad de adultos que superan los 60 años de edad, cada año más hombres y mujeres participan en actividades fuera de sus hogares y gracias a ello, se requieren nuevas soluciones para ayudar a cuidar a las personas mayores (los ancianos). Los sistemas que nos apoyan con el cuidado de los ancianos en casa ya existen y algunos son económicos, permitiendo que los centros de salud los obtengan y les ayuden a cuidar de forma remota a nuestros seres queridos. A medida que pasan los años, la tecnología ha hecho posible la comodidad de nuestros seres queridos en casa. En esta investigación, se presenta una arquitectura novedosa y un prototipo inicial centrado en la comodidad y explota el paradigma de sistemas multiagente que incluye tanto agentes estacionarios como móviles. Además, se presenta un mecanismo adaptativo que permite a los agentes móviles adaptarse a entornos locales diversificados.

Nuestra propuesta consiste en la aplicación de lógica difusa al monitoreo de medicamentos y horarios de consumo, para poder crear una red de actuadores interconectados de forma inalámbrica a través del paradigma del internet de las cosas (IoT); ubicados en distintos sitios del hogar del adulto mayor para crear un sistema multiagentes por medio de inteligencia artificial (la cual será capaz de mantener un registro de datos y aprender de él). Con el objetivo de contribuir en la seguridad del adulto mayor mediante el monitoreo empleado por medio de un ambiente inteligente, permitiendo generar recomendaciones (toma de medicamentos, encendido/apagado de luces, etc.) basadas en el resultado de las lecturas y de esta forma hacer el diseño y construcción de un sistema multiagente como asistente para la medicación de pacientes.

## Summary

Currently, society has more aging filters and this is done because: each year the number of adults who exceed 60 years of age increases, each year more men and women participate in activities outside their homes and thanks to this, new solutions are required to help take care of older people (the elderly). Systems that support us with the care of the elderly at home already exist and some are economic, allowing healthcare centers to obtain them and help them remotely take care of our loved ones. As the years go by, technology has made the comfort of our loved ones at home possible. In this research, a novel architecture and initial prototype is presented focused on comfort and it exploits the multi-agent systems paradigm that includes both stationary and mobile agents. In addition, an adaptive mechanism is presented that allows mobile agents to adapt to diversified local environments. .

Our proposal consists of the application of fuzzy logic to the monitoring of medicines and consumption schedules, in order to create a network of wirelessly interconnected actuators through the Internet of Things (IoT) paradigm; located in different places in the home of the elderly to create a multi-agent system through artificial intelligence (which can keep a record of data and learn from them). Its objective is to contribute to the safety of the elderly through the monitoring used by measuring an intelligent environment, allowing the generation of recommendations (taking medication, turning on / off lights, etc.) based on the result of the readings. and in this way to design and build a multi-agent system as an assistant for the medication of patients.



# **Capítulo 1. Motivo de la Investigación**

Esperamos que el sistema realmente tenga un impacto social dentro de nuestra sociedad y que ayude a la gente a darse cuenta de que nuestros seres queridos dependen de un cuidado especial y si no podemos dárselo, tenemos la obligación de buscar la manera de hacerlo, para que puedan ser atendidos como se merecen. La lección del proyecto está diseñada para dar a las personas la oportunidad de cuidarse a sí mismas en el futuro y darles la opción de evitar tener que depender de sus años de edad avanzada; y para que la gente empiece a cuidar socialmente y la sociedad genere ingenieros que vean a las personas vulnerables.

## **1.1. Estructura del documento**

Empezamos este documento con una pequeña introducción al tema que se desarrollará, el primer capítulo está dedicado a la motivación de la investigación; Dentro de esta sección se verán los hechos que nos motivaron a empezar esta investigación. Empezamos con una introducción que nos ayuda a entender la rama de investigación que estamos trabajando; seguimos con la problemática que encontramos dentro de dicho tema; justificamos esta investigación, dándole una solución preliminar a la problemática en cuestión; nos planteamos una hipótesis para poder deducir si nuestro proyecto pudo o no llegar al resultado deseado; planteamos los objetivos, tanto específicos como generales; y por último, para terminar el capítulo introductorio, se especifican los alcances y limitaciones.

El estado del arte que identifica este proyecto está dividido en seis secciones, las cuales se clasifican como: Ambientes inteligentes, asistentes, smart homes, internet de las cosas (IoT), networks y lógica difusa. estas seis secciones se eligieron específicamente porque son las partes más destacadas de nuestro proyecto y con estas seis secciones creamos una tabla del estado del arte la cual, utilizamos para encontrar las limitaciones de los sistemas analizados en comparación con nuestro proyecto.

Seguido del estado del arte notificamos el Marco referencial, dicho capítulo está dividido en 3 secciones: Antecedentes, en esta sección planteamos la historia más importante de la Raspberry Pi, la lógica difusa a utilizar y los multiagentes (los cuales son la base de nuestra investigación). Dentro de la segunda sección de este documento insertamos el marco conceptual, donde identificamos ciertas definiciones de palabras clave que estaremos utilizando dentro del desarrollo del proyecto, junto con palabras que serán necesarias identificar dentro del mismo. La tercera sección está conformada por el marco teórico, dentro de ella especificamos cuales son los estados de vulnerabilidad de las personas de la tercera edad, junto con las discapacidades más comunes en México; dentro de esta misma sección introducimos temas importantes de saber para poder tener un entendimiento pleno del documento como: pregunta que se puedan tener sobre la Raspberry Pi, el lenguaje de programación utilizado durante el desarrollo, temas de la inteligencia artificial, el internet de las cosas, sensores y actuadores utilizados para la implementación de los agentes y cuáles son algunas de las tecnologías de comunicación inalámbrica más comunes en México.

Los capítulos 4 y 5 del documento tratan sobre el diseño e implementación del prototipo que se construyó. Dentro del diseño del sistema se planteó la metodología del desarrollo junto con el escenario de la situación o en específico problemática, las características del sistema propuesto, los requisitos que este prototipo requiere, el diseño de la propuesta de solución, el diseño de los agentes y la tecnología inalámbrica propuesta para su desarrollo. Dentro de la implementación del sistema creamos una arquitectura general del sistema para poder demostrar de forma gráfica el esquema físico de nuestros agentes, también realizamos una secuencia del programa en Python para demostrar de forma gráfica un esquema de la programación necesaria para llevar a cabo el prototipo. Dentro del capítulo de implementación del sistema, se describiera la implementación de los tres agentes diseñados durante el proyecto, junto con la implementación de la red inalámbrica que los une.

Los experimentos se desarrollaron en forma de pseudocódigos que demuestran el funcionamiento de cada uno de los algoritmos programados, esto se cumplió con el fin de demostrar los algoritmos con los cuales se realizó el experimento. Debido a la

pandemia del 2020-2021 causada por el COVID-19 no se pudieron realizar experimentos de forma física, pero se pueden expresar los resultados gracias al funcionamiento de los algoritmos. Al igual que en la sección del comportamiento de los algoritmos, la parte de los resultados del documento se desarrollará mostrando el funcionamiento de cada uno de los algoritmos programados. En este caso estaremos mostrando el algoritmo funcionando de forma física, es decir, mostrar los agentes funcionando.

Por último, la conclusión del documento se redactó pensando en el aporte a la investigación que nos deja el documento, así como las limitaciones del trabajo realizado y una propuesta de mejora para trabajos futuros.

## **1.2. Introducción**

Actualmente en países del primer mundo existe el programa “Active Assisted Living Programme Ageing Well in the Digital World” en donde se lanzan proyectos que van desde el monitoreo de la actividad física hasta el “envejecimiento feliz” pasando por la automatización de los hogares.

Existe otro programa llamado MIT AgeLab, el cual fue creado para inventar nuevas ideas y traducir creativamente las tecnologías en soluciones prácticas que mejoren la salud de las personas y les permitan "hacer cosas" a lo largo de la vida. El MIT AgeLab es un programa de investigación multidisciplinario que trabaja con empresas, gobiernos y ONG para mejorar la calidad de vida de las personas mayores y de quienes las cuidan.

La tecnología dentro del hogar es una de las ventajas del siglo XXI. Se ha visto tecnología y agentes inteligentes como: Alexa (Dispositivo inteligente capaz de interactuar con su comprador y obedecer sus órdenes), Google Home (Dispositivo inteligente similar a Alexa), casas domóticas o fraccionamientos, cuartos hospitalarios, etc. Cada uno de estos dispositivos o sistemas multiagentes tiene su forma de elaboración y su plan de desarrollo. En este documento se desarrollará una estrategia

para implementar sistema multiagente el cual será capaz de ayudar a las personas vulnerables o con capacidades diferentes, usando una Raspberry Pi.

Por otra parte, el proyecto está diseñado para la automatización dentro de un hogar con la finalidad de conseguir mejoras en la calidad de vida de las personas que van a residir en dicho hogar. Estas mejoras se realizan añadiendo servicios multiagentes a la vivienda, para ello se tiene en cuenta los 4 grandes grupos en los que se agrupan los servicios domóticos: ahorro energético, confort, seguridad y comunicaciones.

### **1.3. Problemática**

Según las estadísticas registradas por el INEGI en el 2015, se calcularon 119,938,473 personas viviendo dentro de México. Dentro de este 100% de población mexicana, contamos con un 10.5% de la población siendo personas de tercera edad, 18% son niños menores de 10 años. Lo que nos da un 28.5% de población no apta para cuidarse a sí mismos. (INEGI, 2015)

Dentro de los cálculos registrados por el INEGI se encuentra el Índice de envejecimiento en el 2015, el cual, aumentó a un 38%. Si tomamos en cuenta que el Índice de dependencia disminuyó a un 52.8% (no siendo una cifra significativa), nos podemos dar cuenta de que en un par de años seguirá disminuyendo la dependencia familiar, pero aumentará el índice de envejecimiento, dándonos un motivo para preocuparnos por nuestro futuro y buscar la forma de envejecer de una forma segura y económica ya que, no contaremos con tantos hijos o nietos como lo hacían nuestros abuelos. (INEGI, 2015)

Ahora bien, no solo las personas de la tercera edad cuentan con desventajas que los hacen ver vulnerables, 6.6% de la población mexicana hablan una lengua indígena. Sabemos que las personas que se comunican a través de lenguas indígenas tienen una desventaja muy grande, no poder comunicarse con personas que no hablan su misma lengua. A pesar de que algunos ya dominan el español como segundo idioma, siguen

siendo víctimas del racismo y no son atendidos de la mejor forma, mucho menos los que no tienen noción del español. Estas personas carecen de cuidados médicos y de personal que les guste ayudarles. (INEGI, 2015)

Pero no solo los indígenas cuentan como personas con desventajas o vulnerables, las personas con discapacidades como: motrices, auditivas, visuales, mentales, comunicativas u orales, de cuidado personal y de enfoque o aprendizaje; suman un total de 5,516,980 que equivalen a 4.60% de la población, de las cuales 48.2% son personas de la tercera edad. Los discapacitados necesitan de mucha atención, así como las personas mayores y los niños que no pueden atenderse solos. (INEGI, 2015)

Ahora bien, si sumamos las personas de la tercera edad en México, los niños menores a 10 años, las personas con desventajas o discapacidades físicas y/o mentales, obtendremos un porcentaje del 39.7% de personas vulnerables registradas por el INEGI en México. Está claro que, dentro de estos cálculos no contamos con lesiones de menor grado o enfermedades temporales, las cuales no permanecen fijas, aun así, tienen una probabilidad de ocurrir.

Dentro de los cálculos anteriormente mencionados, no se hace referencia a los accidentes terrestres o accidentes diarios. En el 2018, se registraron 365,167 accidentes terrestres y más de 12 mil accidentes diarios en México (INEGI, 2015), ¿te imaginas la probabilidad de que en cada uno de esos accidentes alguna persona pueda terminar lesionada o discapacitada?

#### **1.4. Justificación**

La problemática se planteó para las personas vulnerables porque son las personas que más necesitan la ayuda tecnológica ya que, las personas sanas o capaces no les prestan mucha atención por sus pendientes personales. Ya que la cantidad de personas vulnerables cuentan con un porcentaje que eleva el 39% de la población mexicana, sabiendo que por cada una de estas personas tiene que haber uno o dos

individuos que se encarguen de ellas y que en muchos de los casos las personas de la tercera edad se ven con la pesada tarea de cuidarse entre ellos.

Para poder ayudar a estas personas, se planea diseñar un sistema que sea capaz de cuidar la ingesta de medicamento de ellos, no reemplazará a una persona física, pero será utilizado como un ayudante. Tendrá cuidados médicos menores ya que, es casi imposible que reemplace los cuidados médicos de una enfermera y tendrá atenciones para disminuir el esfuerzo de las personas discapacitadas.

Se tiene planeado diseñar una mesa que se pueda ubicar en el centro de la sala de cualquier vivienda, pensando en la comodidad, seguridad y cuidado del individuo. Una mesa dentro del hogar se categoriza como un mueble decorativo y confiable por lo cual, le eligió como nuestro multiagente disfrazado. Para poder cuidar de nuestros seres queridos y confiar un poco más en la tecnología y su seguridad, se realizará una investigación para determinar cuáles materiales se usarán en la fabricación de la mesa y cuál será la forma ideal para que nuestro paciente corra el menor riesgo posibles en caso de algún accidente.

La comodidad es otro de los puntos importantes dentro del diseño del multiagente, se deberá construir una mesa que cuente con la estatura adecuada, dimensiones prudentes y colores neutrales para que “la mesa” se acople a la casa de la manera menos notable. La mayoría de las personas vulnerables consumen medicamentos y la mesa tendrá la tarea de tomar un registro de los medicamentos consumidos, los tiempos de consumo y avisarle al paciente las horas en las que debe consumir sus medicamentos para de esta manera, mantener un paciente saludable.

Para poder llevar a cabo el diseño del multiagente se utilizará una Raspberry Pi. Se eligió esta placa para poder diseñar una aplicación práctica de un controlador difuso, desarrollado un sistema embebido Raspberry Pi 3, para el control del multiagente didáctico basado en la inteligencia artificial y poder hacer uso del lenguaje de programación Python, así como para el control de los GPIO's (General-Purpose Input/Output) de la Raspberry.

El objetivo del controlador es mantener el multiagente en un intervalo propuesto lo cual, permitirá accionar diferentes dispositivos mediante una señal de control, manipulando la señal en forma de cantidades difusas, llevándose así el proceso de defusificación para obtener la señal de control, que interactúe con los actuadores finales.

## **1.5. Hipótesis**

Es posible que la aplicación de lógica difusa al monitoreo de medicamentos y horarios de consumo permita el diseño y construcción de un sistema multiagente como asistente para la medicación de pacientes.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema multiagente a través de una Raspberry Pi que pueda llevar un registro de los medicamentos y horarios de consumos y que sea capaz de cubrir necesidades básicas de comodidad en las personas vulnerables como encendido de luces de rápido acceso, conectores visibles y alcanzables.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema multiagente que les facilite la vida a las personas vulnerables y le dé más comodidad a su rutina diaria.
- Diseñar un multiagente económico para que un porcentaje amplio de la población mexicana vulnerable pueda adquirirlo.
- Construir una mesa segura y cómoda para que las personas vulnerables que la necesiten puedan hacer uso de ella.

- Controlar la automatización integrada en la mesa por medio de sistemas mecánicos y programación en Python, utilizando la Raspberry Pi.
- Diseñar un sistema de control (dispensador) para los medicamentos de las personas vulnerables que utilizaran la mesa.
- Diseñar un sistema de monitoreo para llevar los registros puntuales del consumo de medicamentos.
- Implementar lógica difusa en el sistema para tener un mejor conocimiento de las interacciones.

## **1.7. Alcances y Limitaciones**

### **1.7.1. Alcances**

La comunicación dentro del hogar será limitada al hogar (el sistema sólo se podrá usar dentro del hogar), mientras el sistema esté dentro de un alcance moderado, la señal de comunicación no debería tener problema alguno con su recepción. La parte automática cuenta con un límite de puertos I/O, de los cuales se utiliza uno para cada una de las entradas o salidas disponibles (señales digitales o analógicas), si se llega a exceder el número de entradas y salidas será necesaria una expansión externa.

Para poder recolectar información, se realizará un análisis de datos para poder encontrar irregularidades o anomalías en la información. Esto se llevará a cabo con el fin de tomar acciones preventivas o correctivas dentro de la implementación del proyecto por medio de la lógica difusa.

### **1.7.2. Limitaciones**

La persona discapacitada o en necesidad del dispositivo, tendrá que poseer un sistema de adquisición de datos y deberá tener los conocimientos básicos de “como prender un dispositivo”.



La mesa contará únicamente con 4 conectores eléctricos, 3 luces, dos espacios para bebidas y un espacio en la parte baja para almacenamiento mínimo y una zona de medicamento la cual, contará con un vibrador o buzzer que notifique que ya es hora de consumir los medicamentos.

Las personas que deseen hacer uso de este sistema no necesariamente deben tener alguna limitación física, cualquier persona que pueda razonar podría hacer uso del dispositivo o sistema por gusto o comodidad.

## Capítulo 2. Estado del arte

### 2.1. Ambientes Inteligentes

En el trabajo (Agreda, 2014) se busca diseñar una arquitectura que permita implementar diferentes tipos de sensores y actuadores dinámicamente logrando un buen nivel de adaptabilidad, escalabilidad y portabilidad. Además, la arquitectura permitirá la implementación de un sistema de toma de decisiones inteligente y que esta evolucione junto al paciente.

El autor de (Casaccia, 2018), comentan que la empresa Health@Home (H@H) piensa en las personas de la tercera edad y su comodidad en casa, la empresa cree que por medio del internet de las cosas puede encontrar la manera de que estas personas se comuniquen con el resto del mundo y con sus familiares. Ellos piensan lograr esto por medio de una casa inteligente que incluye pantallas, cámaras, sensores y alarmas las cuales, ayudarán para que estas personas no se sientan tan solas y a la vez ayudará con su bienestar emocional, mejorando su situación médica. El autor, hace hincapié en el cuidado o mejora médica debido a que mediante este sistema se planea eliminar la depresión, falta de ánimo, dependencia, infartos y atender cualquier emergencia a tiempo.

El artículo (Lorente, 2004), nos habla sobre los problemas o dificultades que a veces no vemos o apreciamos al diseñar una casa automatizada. Los costos inesperados, los gastos en mantenimiento, la actualización de software, el mantenimiento físico, la falla en los cables, etc. Por otra parte, el artículo nos muestra todos los dispositivos electrónicos que podríamos manejar con un sistema de encendido directo y el sistema de encendido a través de sensores.

En este artículo, se explora la distribución Coxiana discreta y se propone una forma novedosa del modelo estocástico, también llamado Modelo Coxian oculto semi-Makov (Cox-HSMM), el cual sirve para reconocer las actividades de la vida diaria (AVD) en un entorno de casas inteligentes (Duong, 2005). El uso del coxis tiene varias ventajas sobre la parametrización tradicional, por ejemplo: la multinomial o distribuciones continuas, el bajo número de parámetros libres necesarios en dichas distribuciones, su eficiencia computacional y la existencia de solución de forma cerrada. En el artículo, también se aborda el problema de manejar la observación faltante para el Cox-HSMM propuesto. Respecto a las AVD, se habla de la importancia de la información de duración y modelar a través de Cox-HSMM como resultados, demuestran la superioridad del Cox-HSMM en todos los casos en comparación con el HMM estándar.

En este documento se presenta un sistema inteligente ambiental con una infraestructura de monitoreo que ayudará principalmente a usuarios de la tercera edad con discapacidades. El propósito de tal sistema (Casas, 2008) es crear un entorno seguro e intuitivo que facilite la realización de las tareas del hogar para preservar la independencia de los residentes mayores por un tiempo prolongado. El autor propone utilizar el concepto de persona para ayudarnos a construir un modelo de usuario basado en las aptitudes de las personas. El prototipo del modelado enfatiza la importancia de las técnicas centradas en el usuario en el desarrollo de cualquier sistema ambientalmente inteligente y destaca los impactos potenciales de la inteligencia ambiental.

## **2.2. Asistentes**

El artículo (Cabrera, 2017), habla sobre un sistema domótico diseñado con Arduino, el cual será capaz de controlarse por medio de una aplicación Android (por medio del celular). La comunicación se realizará a través de WIFI (internet). El diseño domótico no se realizará para la comodidad de los usuarios, el diseño es específicamente para la seguridad de la vivienda. Otro punto importante dentro del artículo especifica que: la casa será “ahorrativa”. El Arduino estará conectado al sistema eléctrico del hogar el cual, ayudará a incrementar la corriente y hará más económico su uso.

Microsoft's Cortana, Apple's Siri, Amazon Alexa, Google Assistant, Samsung's Voice Nuance y Facebook's M. son algunos de los sistemas inteligentes más famosos en la actualidad. El autor de este artículo (Kepuska, 2018), nos explica la importancia que tienen los dispositivos interactivos del siglo XXI. Como hemos innovado en la actualidad, por ejemplo, Google Assistant utilizando el DNN (Deep Neural Network) que es básicamente la nueva estrategia de aprendizaje, es una red virtual que transmite todos los conocimientos y los pone a tu disposición. Amazon tiene la capacidad de convertir tu voz en texto. Estos sistemas no solo ayudan dentro del hogar, sino que nos han ayudado con avances científicos como: la creación de inteligencia robótica, pantallas táctiles, movimiento artificial, etc.

Casa activada por voz y su implementación (Yue, 2017), en este trabajo leemos sobre un autor que desea comunicar Google con Amazon y crear una casa inteligente controlada por voz. Lo innovador dentro de este proyecto es que, el autor comunicó los dos dispositivos por medio de MATLAB. Los comandos en MATLAB son fáciles de usar y solo necesitan una computadora conectada al WIFI para su funcionamiento.

### **2.3. SmartHome**

Por otra parte, (Cu PHAM, 2018) habla sobre una comunicación entre ALEXA y ECHONET. La mayoría de nosotros conocemos ALEXA como un dispositivo de control por medio de voz (frecuencia), este dispositivo se planea utilizar como un controlador de comandos dentro del hogar. Por otra parte, se planea trabajar con ECHONET el cual, se utiliza como un sistema ahorrador de energía. Trabajando en conjunto, se planea diseñar una casa inteligente controlada con medio de la voz, ahorradora en energía.

El trabajo (González, 2010), nos cuenta sobre la creación de un software llamado "VISIR" el cual, está diseñado para economizar. El autor diseñó el software pensando en la seguridad, comodidad y bienestar en las casas domóticas. Si planeas crear tu propia casa domótica, es mucho más económico hacerlo con este programa. Pensando simplemente en el costeo interno o programable hace referencias económicas únicamente.

La creación de "Villa Domótica" un fraccionamiento automatizado con casas de tamaño estándar. El autor de (Verifikasi, 2005) diseña la estructura de las casas y nos comparte sus ideas para cada una de las instalaciones, alarmas, conexiones, comunicación, etc. Cada una de estas con una variedad de instalaciones. También nos comparte su programación en Simatica, un software diseñado para las estructuras domóticas.

En este artículo se propone la estructura de hogar inteligente basada en Cloud Computing, que ayuda a reducir la carga de trabajo local y los usuarios pueden obtener

en tiempo real información a través del navegador web. Los autores construyeron la plataforma experimental para validar la estructura del hogar inteligente basado en Cloud Computing. Los resultados del artículo (Gua, 2011), muestran que la estructura propuesta de la casa inteligente es más conveniente y eficiente; además, se hace hincapié en que el Cloud Computing proporciona abundante recurso de red, y garantiza los datos de los usuarios.

En el trabajo (Longo, 2015), se habla sobre la renovación del sistema eléctrico después de haber analizado sus propiedades. En este caso, se demuestra la eficacia del sistema eléctrico dentro del sistema de una casa automatizada, tanto en la comodidad como en el aspecto económico. En conclusión, se propone reemplazar las aplicaciones eléctricas actuales para tener más eficiencia y seguridad energética, así como, el ahorro energético.

En el presente artículo se habla sobre las características de los sensores para su aplicación en los sistemas de monitoreo de casas inteligentes y la comunicación de radiofrecuencia (RF). En lugar de utilizar una gran cantidad de sensores para monitorearla casa inteligente, el autor hace un enfoque en la implementación de únicamente unos cuantos sensores (realizado de esta forma para que el enfoque sea preciso). Dentro del artículo se discuten los sensores económicos y de calidad, así como también se habla sobre los requisitos del sensor para hacer una red de sensores inteligentes. En resumen, el autor nos habla sobre un sistema típico desarrollado internamente para el hogar (Gaddam, 2011).

## **2.4. Internet de las Cosas**

El IoT por sus siglas en inglés (Internet of Things) mejor conocido en español como el internet de las cosas, es una de las creaciones de moda hoy en día, sin mencionar su capacidad. El trabajo (Panwar, 2018) hace mención sobre la probabilidad de diseñar una casa domótica utilizando el IoT, el cual facilitará su uso, haciéndolo más

rápido, más económico, con más capacidad para sensores y con menos errores eléctricos.

El Internet de las cosas usando Node-Red y Alexa (Rajalakshmi, 2018); se planea que estos dos softwares trabajen en conjunto para lograr una comunicación máquina con máquina (M2M). Utilizando el IoT, se podrían comunicar estos dos sistemas y de esta manera crear un control parecido a AWS (Amazon Web Services) Servicios Web Amazon. Este servicio tiene como ejemplo el MQTT (Message Queue Telemetry Transport) el cual, trabaja como un sistema de comunicación entre dispositivos, uno de los servicios más usados para MQTT es la comunicación celular-dispositivo electrónico. Se puede usar para controlar cualquier dispositivo dentro del hogar encendido, apagado, control infrarrojo, control resistivo (opciones para controlar dispositivos), etc.

## **2.5. NetWorks**

En este artículo se presenta un marco específico del dominio de la plataforma basado en redes de sensores y actuadores inalámbricos (WSAN) para que permita una gestión eficiente y eficaz de los edificios (Fortino, 2012). El marco de gestión de edificios propuesto (BMF) proporciona poderosas abstracciones que capturan la morfología de los edificios para permitir el desarrollo rápido y la gestión flexible de aplicaciones de supervisión de edificios generalizadas. Las funcionalidades del marco se muestran en un caso de estudio emblemático sobre la “Smart Energy Lab” que es un escenario operativo efectivo relacionado con el monitoreo del uso de puestos de trabajo en laboratorios y oficinas. En resumen, una evaluación de desempeño de un WSAN que ejecuta el BMF en términos de uso de red y vida útil del sistema.

El hogar inteligente es un entorno de vida inteligente, así como lo es: una red que emplea una casa como plataforma para integrar sistema de control automático, un sistema de red informática y la tecnología de la comunicación. En este artículo, el autor nos habla sobre una casa que cuenta con una red construida como una plataforma para integrar el control automatizado de un sistema de comunicación. Para evitar las

restricciones de cableado, movimiento y estética en el tradicional sistema de hogar inteligente que utiliza la red, el autor diseñó una red para el hogar inteligente basada en tecnología de redes sensoriales inalámbricas con los Zigbee. Un algoritmo de enrutamiento mejorado se propone al combinar Cluster-Tree y AODVjr en uso con una red inalámbrica creada con las Zigbee (Zhong, 2011). En resumen, un método más conveniente y confiable en el entorno de comunicación inalámbrica se logra en el sistema de dicha casa.

En el artículo (Tsou, 2006), el autor define una red de sensores inteligentes como la infraestructura de un sistema de automatización y control de supervisión dentro del hogar, dicho autor propone funciones como la gestión de entrada inteligente (monitoreo de ingreso y egreso) para los guardias de seguridad, la seguridad del hogar, el monitor ambiental y el control de la luz. Estos sistemas son implementados por medio de una red inteligente que se integra con servicios de acceso a multimedia, procesamiento de imágenes, sensores de seguridad y tecnologías de control. Este artículo también nos habla sobre los detalles del proceso de desarrollo de una red doméstica inteligente en Taiwán basada en tecnología ZigBee con la combinación de comunicación con electrodomésticos inteligentes, haciendo uso del protocolo: SAANet.

En este documento, se habla sobre un novedoso sistema de monitoreo para el hogar que se basa en una red de sensores cognitivos y está diseñado para aplicaciones de cuidado de personas de la tercera edad. El sistema inteligente (Anuroop, 2010) consiste de un número óptimo de sensores inalámbricos cognitivos que son utilizados para detectar el uso de dispositivos eléctricos, patrón de uso de la cama, flujo de agua, etc., e incorpora un botón de pánico. Los sensores proporcionan información que se puede utilizar para monitorear a las personas de la tercera edad detectando cualquier patrón anormal en su rutina de actividades diarias en la casa. El sistema generará y enviará un mensaje de alerta temprana para el cuidador, cuando un imprevisto o una condición anormal ocurra.

El proyecto SwissQM realizó su propio artículo, el cual habla sobre SwissQM: un procesamiento de datos de próxima generación en redes de sensoriales (Mueller, 2007),

SwissQM está propuesto como una arquitectura de próxima generación para redes de sensores construidas para abordar tanto las redes como los sensores de procesamiento de datos. SwissQM transmite su propuesta como la combinación de una máquina virtual y sus sensores con un potente gateway como punto de acceso al sistema. El autor comparte su red sensorial SwissQM como una red que abre las puertas a las redes de sensores de una forma más eficiente, la cual nos ofrece: independencia del modelo de datos, rendimiento optimizado, una integración fluida en el resto de la arquitectura, adaptabilidad, múltiples usuarios y aplicaciones, alta respuesta a consultas, extensibilidad y uso optimizado de recursos. En resumen, el documento describe al proyecto SwissQM, las funciones que ofrece y ejemplos de su uso.

## **2.6. Lógica Difusa**

Este documento presenta una fusión de información sobre un sistema de control difuso inteligente utilizado en el hogar. El control propuesto en este artículo incluye acceso a Internet e información con un módulo de adquisición, servicios de redes internos con conectividad comunicada a través de bluetooth, información basada en un controlador que utiliza lógica difusa junto con una red neuronal difusa, y unidades computacionales integradas en electrodomésticos (Zhang, 2008). Todo lo anteriormente mencionado se utiliza en conjunto para que la propuesta del autor pueda controlar el hogar por medio de electrodomésticos y de esta manera crear el entorno del hogar inteligente. Los detalles del sistema desarrollado (desde el diseño hasta implementación) se muestran en este documento.

En este artículo, se muestra un algoritmo basado en los principios del sistema de aprendizaje y su adaptabilidad. El algoritmo “Observe, Learn and Adapt (OLA)” propuesto utiliza el aprendizaje adaptando conceptos del sistema. El algoritmo es utilizado para la integración de sensores inalámbricos y conceptos de inteligencia artificial hacia el mismo objetivo: agregar más inteligencia para un termostato de comunicación programable (PCT), para gestionar y conservar de una mejor manera la energía en el hogar (Qela,



2012). Los autores también muestran el desarrollo de un simulador casero y que se utilizó como un “control de mando en el sistema operativo” para ayudar en la implementación y verificación del algoritmo OLA. La función del PCT es proporcionar al consumidor los medios para gestionar y reducir el uso de energía, mientras se adapta sus horarios, preferencias y necesidades diarias. Como resultado, los autores llegaron a la conclusión de que los datos reales del aprendizaje y la adaptabilidad de un PCT equipado con OLA cambian de patrón, es decir, cambian el horario en el que ocurren. En resumen, las mejoras generales del sistema con respecto a el consumo y el ahorro de energía se demuestran mediante simulación para el hogar controlado por zona equipado con OLA y bases de conocimiento, versus una casa sin control de zona, sin base de conocimiento ni OLA.

Para llevar a cabo esta investigación, primero se realizó una encuesta, el documento analiza los componentes básicos que incluyen las casas inteligentes, con especial atención al subsistema de seguimiento de la salud como componentes importantes, al tomar en cuenta los requisitos y beneficios básicos de varios sensores implementados tanto de la ingeniería como de la clínica perspectivas. Por otra parte, el documento discutirá algunos temas importantes que nos hablan sobre la importancia de las casas inteligentes y el uso de las mismas (los cual incluye los sensores vistos previamente en el documento, que nos benefician en el hogar). También nos habla sobre el futuro desarrollo de un espacio residencial inteligente con un sistema funcional de vigilancia de la salud amigable para el ser humano, el cual fue pensado utilizando lógica difusa para la implementación de sus sensores y sistema inteligente para que dicho sistema pueda trabajar amigablemente con los residentes futuros (Stefanov, 2004).

## **2.7. Tabla Comparativa**

Dentro de este apartado retroalimentaremos las secciones creadas dentro del estado del arte general, aquí tomaremos dichas secciones y especificaremos el motivo de la publicación o proyecto junto con la solución o resultados obtenidos en cada uno de los artículos, respetando su sección. Otra cosa que se toma en cuenta es el nombre, los autores y la fecha de publicación;

esta parte es importante porque nos da una entrada a los autores en común y la novedad del artículo.

### 2.7.1. Ambientes Inteligentes

Nombre del artículo	Autores	Año publicado	Motivo de publicación o proyecto	Solución o Resultados
Ambient Intelligence based Multi-Agent System for attend Elderly People	Javier Andrés Agreda, Enrique González	2004	Diseñar una arquitectura para implementar sensores y actuadores para adaptabilidad, escalabilidad y portabilidad.	La arquitectura permitirá la implementación de un sistema de toma de decisiones inteligente para el paciente.
Health@Home: Pilot cases and preliminary results: Residential sensor network to promote the active aging of real users.	S. P. Casaccia	2018	La empresa Health@Home (H@H) quiere mejorar la comodidad en casa por medio del internet de las cosas para que las personas se comuniquen con sus familiares.	Una casa inteligente que incluye pantallas, cámaras, sensores y alarmas; para ayudar con el bienestar emocional, mejorando la situación médica.

Key Issues Regarding Domotic Applications	Santiago Lorente	2004	Los problemas o dificultades al diseñar una casa automatizada (costos inesperados, gastos en mantenimiento, actualización de software, mantenimiento físico, falla en los cables, etc.)	Los dispositivos electrónicos que podríamos manejar con un sistema de encendido directo y el sistema de encendido a través de sensores.
Efficient Coxian Duration Modelling for Activity Recognition in Smart Environments with the Hidden semi-Markov Model	Thi V. Duong, D.Q. Phung, H. H. Bui, S. Venkatesh	2005	Se explora la distribución Coxiana discreta y se propone una forma novedosa del modelo estocástico, también llamado Modelo Coxian oculto semi-Makov (Cox-HSMM), el cual sirve para reconocer las actividades de la vida diaria (AVD) en un entorno de casas inteligentes.	El uso del coxiano tiene varias ventajas sobre la parametrización tradicional, por ejemplo: la multinomial o distribuciones continuas, el bajo número de parámetros libres necesarios en dichas distribuciones y su eficiencia computacional.

User Modelling in Ambient Intelligence for Elderly and Disabled People	Roberto Casas, Rubén Blasco Marín, Alexia Robinet, Armando Roy Delgado, Armando Roy Yarza, John McGinn, Richard Picking, and Vic Grout	2008	Un sistema inteligente ambiental con una infraestructura de monitoreo que ayudará principalmente a usuarios de la tercera edad con discapacidades.	Un entorno seguro e intuitivo que facilite la realización de las tareas del hogar para preservar la independencia de los residentes mayores por un tiempo prolongado.
--	--	------	--	---

Tabla 2.1 Ambientes Inteligentes

### 2.7.2. Asistentes

Nombre del artículo	Autores	Año publicado	Motivo de publicación o proyecto	Solución o Resultados
Intelligent Assistant to Control Home Power Network	Julio Cabrera María Mena Ana Parra Eduardo Pinos	2016	Sistema doméstico controlado, la comunicación se realizará a través de WIFI (internet).	El diseño es específicamente para la seguridad de la vivienda.

<p>Next-Generation of Virtual Personal Assistants (Microsoft Cortana, Apple Siri, Amazon Alexa and Google Home)</p>	<p>Veton Këpuska Gamal Bohouta</p>	<p>2018</p>	<p>Innovación tecnológica por medio de Google Assistant utilizando el DNN, es una red virtual que transmite todos los conocimientos y los pone a tu disposición.</p>	<p>Estos sistemas no solo ayudan dentro del hogar, sino que nos han ayudado con avances científicos como: la creación de inteligencia robótica, pantallas táctiles, movimiento artificial, etc.</p>
<p>Voice Activated Smart Home Design and Implementation</p>	<p>Chan Zhen Yue Shum Ping</p>	<p>2017</p>	<p>Casa activada por voz y su implementación</p>	<p>Dispositivos comunicados por medio de MATLAB, sólo necesitar una computadora conectada al WIFI para su funcionamiento.</p>

Tabla 2.2 asistentes

### 2.7.3. SmartHome

Nombre del artículo	Autores	Año publicado	Motivo de publicación o proyecto	Solución o Resultados
A Platform for Integrating Alexa Voice Service Into ECHONET-based Smart Homes	Cu PHAM, Yuto LIM and Yasuo TAN	2018	Comunicación entre ALEXA y ECHONET	Casa inteligente controlada con medio de la voz, ahorradora en energía.
VISIR, a simulation software for domotics installations to improve laboratory training	V. M. González	2010	Software llamado "VISIR", diseñado para economizar.	Software diseñado para la seguridad, comodidad y bienestar en las casas domóticas.
Design and Development of an Automatic Fingerprint Verification System	D. A. Verifikasi	2005	"Villa Domótica" un fraccionamiento automatizado con casas de tamaño estándar.	Comparte su programación en Simatica, un software diseñado para las estructuras domóticas.
The Design of Smart Home Platform Based on Cloud Computing	Haijun Gu, Yufeng Diao, Wei Liu, Xueqian Zhang	2011	Estructura de un hogar inteligente basada en Cloud Computing.	La estructura propuesta de la casa inteligente es más conveniente y eficiente.

<p>Net Zero Energy of smart house design</p>	<p>M. Longo, MC. Roscia and D. Zaninelli</p>	<p>2015</p>	<p>Se propone reemplazar las aplicaciones eléctricas actuales para tener más eficiencia y seguridad energética, así como, el ahorro energético.</p>	<p>Se demuestra la eficacia del sistema eléctrico dentro del sistema de una casa automatizada, tanto en la comodidad como en el aspecto económico.</p>
<p>Trial &amp; Experimentation Of A Smart Home Monitoring System for Elderly</p>	<p>Anuroop Gaddam, Subhas Chandra Mukhopadhyay, Gourab Sen Gupta</p>	<p>2011</p>	<p>Las características de los sensores para su aplicación en los sistemas de monitoreo de casas inteligentes y la comunicación de radiofrecuencia (RF).</p>	<p>El autor hace un enfoque en la implementación de únicamente unos cuantos sensores para un enfoque preciso.</p>

Tabla 2.3 SmartHome

#### 2.7.4. Internet de las Cosas

Nombre del artículo	Autores	Año publicado	Motivo de publicación o proyecto	Solución o Resultados
Eyrie Smart Home Automation using Internet of Things	Ayush Panwar, Anandita, Singh, Siddharth Jaidka, Renu Kumawat, Kumkum Garg	2017	La probabilidad de diseñar una casa domótica utilizando el IoT para facilitar su uso.	Comunicación más rápida, más económica, con más capacidad para sensores y con menos errores eléctricos.
Internet of Things using Node-Red and Alexa	Anoja Rajalakshmi, Hamid Shahnasser	2017	Internet de las cosas usando Node-Red y Alexa	Softwares trabajando en conjunto para lograr una comunicación máquina con máquina (M2M).

Tabla 2.4 Internet de las cosas



### 2.7.5. NetWorks

Nombre del artículo	Autores	Año publicado	Motivo de publicación o proyecto	Solución o Resultados
A flexible building management framework based on wireless sensor and actuator networks	G. Fortino, A.Guerrieri, G.M.P.O'Hare, A.Ruzzelli	2012	Desempeño de un WSAN que ejecuta el BMF en términos de uso de red y vida útil de un sistema.	El BMF proporciona abstracciones que capturan la morfología de los edificios, el desarrollo es rápido y la gestión y flexible.
An Improved Routing Algorithm of Zigbee Wireless Sensor Network for Smart Home System	Dexing Zhong, Wei Ji, Yongli Liu, Jiuqiang Han, Shengbin Li	2011	Una red que emplea una plataforma para integrar sistema de control automático.	Un algoritmo de enrutamiento mejorado se propone al combinar Cluster-Tree y AODVjr creada con las Zigbee.
Building a Remote Supervisory Control Network System for Smart Home Applications	Yu-Ping Tsou, Jun-Wei Hsieh, Cheng-Ting Lin, Chun-Yu Chen	2006	Gestión de entrada inteligente para los guardias de seguridad, la seguridad del hogar, el monitor ambiental y el control de la luz.	Una red inteligente que se integra con servicios de acceso a multimedia, procesamiento de imágenes, sensores de seguridad y tecnologías de control.

Elder Care Based on Cognitive Sensor Network	Anuroop Gaddam, Subhas Chandra Mukhopadhyay, and Gourab Sen Gupta	2011	Una red de sensores cognitivos diseñada para aplicaciones de cuidado de personas de la tercera edad.	Los sensores monitorean a las personas de la tercera edad detectando cualquier patrón anormal en su rutina de actividades diarias en la casa.
SwissQM: Next Generation Data Processing in Sensor Networks	Rene Mueller Gustavo Alonso Donald Kossmann	2007	SwissQM: un procesador de datos en redes sensoriales.	Nos ofrece: independencia del modelo de datos, rendimiento optimizado, una integración fluida en el resto de la arquitectura, adaptabilidad, múltiples usuarios y aplicaciones, alta respuesta a consultas, extensibilidad y uso optimizado de recursos.

Tabla 2.5 NetWorks

### 2.7.6. Lógica Difusa

Nombre del artículo	Autores	Año publicado	Motivo de publicación o proyecto	Solución o Resultados
Information Fusion Based Smart Home Control System and Its Application	Lan Zhang, Henry Leung, and Keith C. C. Chan	2008	Sistema de control difuso inteligente utilizado en el hogar.	El control incluye acceso a Internet e información con un módulo de adquisición, comunicación a través de bluetooth, un controlador que utiliza lógica difusa junto con una red neuronal difusa, y unidades computacionales integradas en electrodomésticos.
Observe, Learn, and Adapt (OLA)—An Algorithm for Energy Management in Smart Homes Using Wireless Sensors and Artificial Intelligence	Blerim Qela and Hussein T. Mouftah,	2012	Algoritmo “Observe, Learn and Adapt (OLA)” basado en los principios del sistema de aprendizaje y su adaptabilidad.	La adaptabilidad de un PCT equipado con OLA cambia de patrón. El consumo y el ahorro de energía se demuestran mediante simulación para el hogar

				controlado por zona equipado con OLA.
The Smart House for Older Persons and Persons with Physical Disabilities: Structure, Technology Arrangements, and Perspectives	Dimitar H. Stefanov, Zeungnam Bien and Won-Chul Bang	2004	Encuesta para analizar los componentes básicos que incluyen las casas inteligentes, con especial atención al subsistema de seguimiento de la salud.	los beneficios básicos de varios sensores implementados tanto de la ingeniería como de la clínica perspectivas.

Tabla 2.6 Lógica Difusa

## 2.8. Limitaciones de los sistemas analizados

Muchos de los sistemas desarrollados específicamente para actuar en el área de ambientes inteligentes están programados para servir en el hogar, en la oficina o cualquier habitación de forma básica. Los sistemas que se resumen en este documento atienden en su mayoría a personas de la tercera edad, ayudándoles con su día a día en cualquiera de las habitaciones mencionadas anteriormente (en la mayoría de los casos la atención propuesta se realiza en el hogar de la persona). Por otra parte, estos sistemas están más enfocados a la comodidad y el ahorro de energía, lo cual limita a los sistemas

en la parte médica. La comodidad de las personas vulnerables (tal como lo son las personas de la tercera edad), es tan importante como su salud.

Las casas inteligentes “SmartHomes” son un caso muy parecido a los ambientes inteligentes pero estos sistemas sólo se realizan dentro del hogar y son automatizaciones en la mayoría de los casos. En las instalaciones de estos sistemas es muy visto que se utilicen sistemas de seguridad, sistemas de monitoreo, automatización para la comodidad, ahorro de energía mediante redes y el uso de dispositivos electrónicos como Alexa y Google Home. En la mayoría de los casos todos estos sistemas están limitados debido a que solo funcionan dentro del hogar y no pueden ser usados por personas un gran porcentaje de las personas vulnerables. Por otra parte, recordemos que estos sistemas están diseñados en su mayoría para la comodidad del usuario y dejan atrás la parte médica que necesitan las personas vulnerables o de la tercera edad.

Existen sistemas que no sólo se pueden utilizar en el hogar, sino en todas partes; los cuales, trabajan como asistentes que entienden tus necesidades por medio del procesamiento de lenguaje natural. Estos sistemas son dispositivos como: Alexa, Google Home, Cortana, etc. Los dispositivos anteriormente mencionados trabajan únicamente por medio del sistema operativo en el cual estén conectados o por medio del sistema en el cual lo programaron; en algunos casos se han entrelazado estos dispositivos con otros sistemas creando asistentes automatizados físicamente. Como se mencionó, estos dispositivos son muy útiles, pero serían aún más útiles si se pudieran entrelazar con sistemas físicos para que estos puedan ayudar a las personas con poca movilidad.

Una forma de comunicar muchos sistemas de monitoreo, seguridad, comodidad, etc., es a través de NetWorks (redes) o IoT (internet de las cosas) creando multisistemas. En la mayoría de los artículos mencionados en el área de internet de las cosas y Networks de este documento, se puede ver como todos los dispositivos se comunican inalámbricamente para automatizar un sistema, proporcionándole comodidad al usuario. La limitación más grande que tienen estos sistemas es que dependen de sus conectores, dependen de los actuadores y de los dispositivos conectados a ellos para poder crear un sistema.

## Capítulo 3. Marco Referencial

A continuación, se redactará una pequeña introducción a los antecedentes de los puntos más importantes del proyecto, así como un marco conceptual con las definiciones de las palabras más relevantes dentro del documento y para finalizar, el marco de referencia se redactará el marco teórico de los puntos considerados para el estado del arte y el enfoque del proyecto.

### 3.1. Antecedentes

#### 3.1.1. Raspberry Pi

La Raspberry Pi es una mini computadora del tamaño de una tarjeta de crédito, algunas la llaman “placa simple”. Esta placa es de bajo costo y fue diseñada por la fundación Raspberry Pi, en Inglaterra con el propósito de promover la educación, la programación, el desarrollo informático y el desarrollo de la ciencia de la computación educativa. Su sistema operativo es llamado Raspbian el cual, es una versión adaptada de Open Source llamada Debian, tomando en cuenta que Raspbian admite Windows 10. A continuación, en la figura 3.1 se muestra la imagen de una Raspberry Pi conectada.



Figura 3.1: Raspberry Pi

Eben Upton, fundador de la organización Raspberry Pi, cuenta la historia de los comienzos y principales objetivos de su proyecto (Teslabem, 2017):

La Raspberry nació en el año 2006, basada en el microcontrolador Atmel Atmega644. Después de sacar el primer prototipo y refinarlo, la organización Raspberry fue fundada el mayo del año 2009, en Caldecote, South Cambridgeshire, del Reino Unido, siendo regulada al principio como asociación caritativa por la comisión de caridad de Inglaterra y Gales. Eben Upton, como fundador principal de la organización Raspberry Pi, inspirado por la forma en cómo el ordenador Acorn BBC Micro fomenta el aprendizaje de la informática, principalmente a niños, contactó a varios entusiastas de la informática para realizar este proyecto.

Antes de su lanzamiento, en agosto del 2011 se habían fabricado 50 placas Alfa, y en octubre se había ya elegido el logotipo oficial de la fundación. Para el 29 de febrero del 2012, se empezaron a vender los modelos A, donde se había anunciado antes que tendrían 128 MB de memoria RAM, pero en su lanzamiento, lograron aumentar la capacidad hasta 256 MB, en los siguientes 6 meses llegaron a vender hasta 500,000 unidades.

El primer modelo lanzado al mercado fue la Raspberry Pi Modelo A, que solo tenía un solo puerto USB y carecía de un controlador Ethernet, las ventas principalmente se centraron en el modelo B, que tenía dos puertos USB y sí tenía un controlador para Ethernet.

### **3.1.2. Lógica difusa**

Parece que la Lógica Difusa es algo reciente y en lo que se lleva trabajando poco tiempo, pero sus orígenes se remontan a los tiempos de los filósofos Aristóteles y Platón. Ellos fueron los primeros en considerar que “las cosas no tienen por qué ser de un cierto tipo o dejar de serlo, sino que hay una escala intermedia entre los dos extremos. Es más,

son los pioneros en considerar que existían diferentes grados de verdad y falsedad.”. Por ejemplo: En el caso de los colores, entre el blanco y el negro hay una escala de tonalidades grises. (Castillo, 2018)

En el siglo XVIII, David Hume e Immanuel Kant continuaron pensando estas ideas. Ambos concluyeron en que el razonamiento se adquiere gracias a las vivencias a lo largo de nuestra vida. Hume creía en la lógica del sentido común y Kant pensaba que sólo los matemáticos podían proveer definiciones claras y que por lo tanto había principios contradictorios que no tenían solución. Uno de los ejemplos dados por Kant es que, la materia podía ser dividida infinitamente, pero al mismo tiempo no podía ser dividida infinitamente. En conclusión, ambos detectaron algunos principios contradictorios en la Lógica Clásica. A continuación, en la figura 3.2 se muestra un ejemplo de una gráfica de lógica difusa.

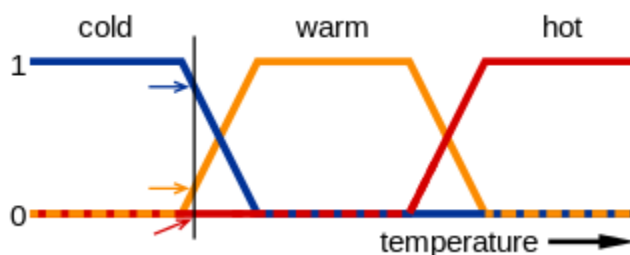


Figura 3.2: Ejemplo de Lógica Difusa

A principios del siglo XX, el filósofo y matemático británico Bertrand Russell divulgó la idea de que la lógica produce contradicciones. Realizó un estudio sobre las vaguedades del lenguaje, concluyendo con precisión que la vaguedad es un grado. También en este tiempo Ludwig Wittgenstein, estudió las diferentes acepciones que tiene una misma palabra. Éste llegó a la conclusión de que en el lenguaje una misma palabra expresa modos y maneras diferentes.



En 1920 Jan Lukasiewicz, desarrolló la primera lógica de vaguedades. Para él los conjuntos tienen un posible grado de pertenencia con valores que oscilan entre 0 y 1, y en este intervalo existe un número infinito de valores.

El padre del término "difuso" fue Lofti Asier Zadeh cuando en 1965 publicó "Fuzzy Sets" (Conjuntos Difusos).

### 3.1.3. Multiagente

Sus orígenes:

- Delegación – actuar de modo independiente.
- Inteligencia – actuar del modo que represente nuestros mejores intereses mientras se interactúa con otros humanos o sistemas.
- Sistemas que actúen de un modo efectivo en nuestro nombre.
- Sistemas con habilidad de cooperación y capaces de alcanzar consensos con otros sistemas.

En la figura 3.3 se muestra la imagen visual de un multiagente.

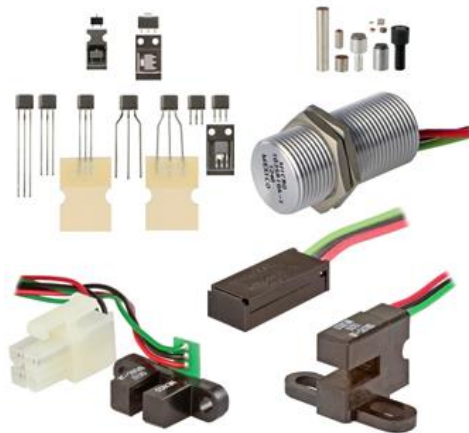


Figura 3.3: Multiagente

## 3.2. Marco conceptual

### 3.2.1. Sensor

Un sensor es un elemento que detecta la magnitud de un parámetro físico, el término sensor se refiere a que, el elemento de medición que cambia por una señal para que un sistema dado pueda procesar una señal. Dentro de cada sensor existe un conductor el cual se considera como el elemento activo dentro del sensor. El diseño de cada uno de los sensores y transductores se define por el principio o la ley de física relaciona la cantidad de interés con algún evento medible. A continuación, en la figura 3.4 se muestra la imagen de diferentes tipos de sensores.



*Figura 3.4: Sensores*

Un ejemplo del modo de uso de un sensor podría ser, un sistema de monitoreo. Los sensores pueden utilizarse dentro de estos sistemas para medir cantidades físicas tales como posición lineal, posición angular, desplazamiento, deformación, aceleración, presión, caudal, fuerza, velocidad lineal y velocidad angular, temperatura, intensidad lumínica, distancia y vibración. (LATAM, 2018)

### 3.2.2. Actuador

La función de un actuador es proporcionar la fuerza necesaria a una etapa de potencia para mover otro dispositivo mecánico. La fuerza que puede activar un actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Estas tres fuentes pueden ser nombradas como: “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”. (Vildósola) A continuación, en la figura 3.5 se muestra la imagen de diferentes tipos de actuadores.



Figura 3.5: Actuadores

### 3.2.3. Sistemas de monitoreo

Un sistema de monitoreo puede clasificarse como un sistema de seguridad el cual, es un conjunto de herramientas y estrategias que se combinan para maximizar la posibilidad de seguridad a través de la vigilancia continua. Por ejemplo, los sensores de ventana, sensores de gas y alarmas contra incendios permanecen activos en todo momento, en la figura 3.6 se muestra la imagen de un sistema de monitoreo.



*Figura 3.6: Sistema de monitoreo*

Los servicios web también se han convertido en una parte más importante de un sistema de monitoreo de seguridad. Los servicios web ahora recopilan y analizan mucha más información y pueden proporcionar informes de anomalías, información detallada de los visitantes, control de entrada e incluso pueden controlar cámaras, luces y puertas de forma remota. Esto no solo proporciona un mayor acceso de información a los propietarios, sino que también les da más control para que puedan actuar de manera rápida y precisa. Es probable que las computadoras que ayudan a monitorear dispositivos de seguridad sean más efectivas mediante el uso de video de mayor calidad y un software de reconocimiento mejorado. (Trovos, 2019)

#### **3.2.4. Multiagente**

La posibilidad de distribuir la inteligencia artificial en una red de algoritmos, también llamado sistema multiagente. Ahora los sistemas aprenden, exploran y trabajan en equipo con réplicas de sí mismos. Existen muchos tipos de sistemas multiagentes. A continuación, en la figura 3.7 se muestra la imagen visual de un multiagente.



*Figura 3.7: Multiagente*

Un ejemplo de un sistema multiagente, es un conjunto de individuos que trabajan en equipo, como: un equipo de fútbol es un sistema multiagente. Lo cual indica que, hay tareas comunes, hay conocimiento segmentado por cada individuo y hay conocimiento colectivo, existen condiciones de trabajo diferentes para cada individuo y, además, cada individuo tiene autonomía de trabajo. (SOLUTECIA, 2019)

### **3.2.5. Almacén de datos**

Una recopilación de datos o almacén de datos. Un almacén de datos recopila datos periódicamente de una aplicación o sistema, una vez que los datos fueron seleccionados, estos pasan por un proceso de formateo e importación para por guardarse dentro del mismo almacén. El almacén de datos guarda con el fin de que, a la hora de nosotros querer monitorear o ver los resultados, se puedan consultar y visualizar. La frecuencia a la que se guardarán los datos, variará en función de las necesidades del programa al que se le asignó o la forma en la que se programó (Pearlman, 2019), en la figura 3.8 se muestra la imagen de una base de datos virtual.



Figura 3.8: Almacén de datos

### 3.2.6. Etapa de potencia

La etapa de potencia de un sistema se considera como la etapa de salida del mismo. La etapa de potencia se empieza al terminar la programación y la terminación del circuito principal y termina al conectar los actuadores al sistema. Las etapas de salida son diseñadas para trabajar con niveles de tensión y corriente elevados, en la figura 3.9 se muestra la imagen del proceso de una etapa de potencia.

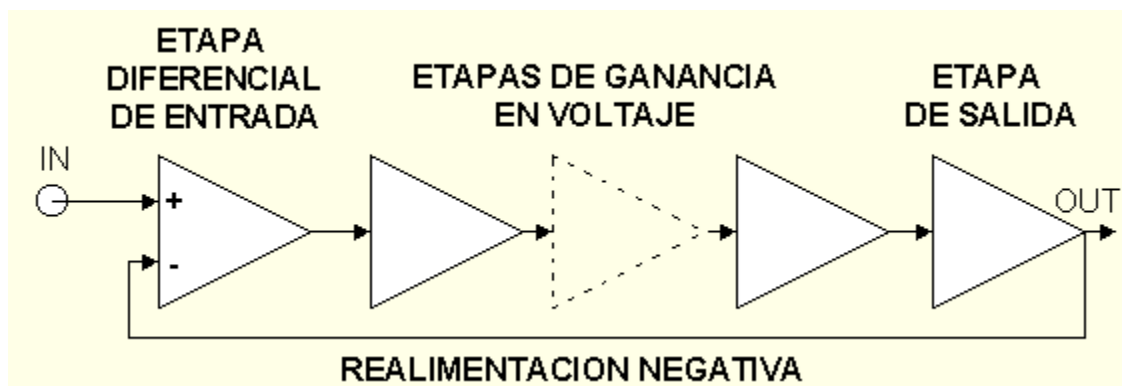


Figura 3.9: Etapa de potencia

Una etapa de salida debe ser independiente del propio valor de la carga, tener reducido consumo estático de potencia y no limitar la respuesta en frecuencia del amplificador completo.

### 3.2.7. Señales de tensión

Las señales de tensión se pueden entender como los distintos niveles de tensión, corriente, resistencia, capacidad, inductividad, impedancia y demás, que podemos medir mediante distintos instrumentos. A continuación, en la figura 3.10 se muestra la imagen de una señal de advertencia por alta tensión.



*Figura 3.10: Señales de tensión*

En un sistema de seguridad es importante diseñar una buena estructura física para que las tensiones no se cruzan, provocando accidentes, ruidos o robos de voltajes.

### 3.2.8. Automatización

La automatización se puede definir como un conjunto de procesos o eventos que ocurren de forma electromecánica sin ayuda o intervención de algún individuo físico como el ser humano. La automatización normalmente se utiliza para optimizar y mejorar el funcionamiento de alguna máquina o proceso industrial, industria 4.0. Cuando necesitamos que algún mecanismo o algo electrónico funcione sin la necesidad de una persona presente, se utiliza la automatización (L7Logicbus, 2008-2019), en la figura 3.11 se muestran diferentes técnicas de automatización.



Figura 3.11: Automatización

### **3.3. Marco teórico**

#### **3.3.1. Estados de vulnerabilidad en las personas de la tercera edad**

Este proyecto está enfocado en las personas vulnerables, tal como se demostró en el primer apartado de este documento; nuestra problemática demostró que existen muchos tipos de vulnerabilidad en México. Para poder enfocar nuestro proyecto nos dirigiremos a las personas de la tercera edad, las cuales, son un porcentaje muy amplio dentro de las personas vulnerables y en ocasiones cuentan con 2 o más identificaciones de vulnerabilidad.

#### **Discapacidades**

Las discapacidades de las personas de la tercera edad se pueden dividir en varios tipos, en este documento se definirán las discapacidades más comunes hoy en día:



### **Discapacidad motriz**

Este tipo de discapacidad se caracteriza por evitar la movilidad o disminuir la movilidad de las personas de la tercera edad (en el mejor de los casos). Esta falta de movilidad se puede dar en una o más partes del cuerpo, evitando así su manejo. Lo antes dicho se traduce en una dificultad o impedimento a la hora de realizar diversas tareas motoras, en especial las de la motricidad fina. A continuación, en la figura 3.12 se muestra la imagen visual o símbolo de una persona con discapacidad motriz.



*Figura 3.12: Discapacidad motriz*

Es importante para las personas entender que esta clase de discapacidades generan en las personas que la sufren movimientos incontrolados, temblores, dificultad de coordinación, fuerza reducida, entre otros.

### **Discapacidad auditiva**

Este tipo de discapacidad se caracteriza por la pérdida total o parcial de la percepción de los sonidos, y para diagnosticarla se evalúa cuánto es percibido por cada oído de forma individual. A continuación, en la figura 3.13 se muestra la imagen visual o símbolo de una persona con discapacidad auditiva.



*Figura 3.13: Discapacidad auditiva*

Una persona es considerada sorda cuando su deficiencia auditiva es total o profunda, es considerada hipoacúsica si su pérdida de la audición es parcial y su audición puede mejorar con el uso de dispositivos electrónicos.

### **Discapacidad visual**

Existen aproximadamente 280 millones de personas que sufren de discapacidad visual, siendo casi 40 millones ciegas y más de 240 de baja visión. A continuación, en la figura 3.14 se muestra la imagen visual o símbolo de una persona con discapacidad visual.

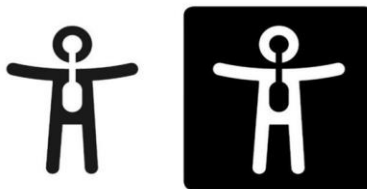


*Figura 3.14: Discapacidad visual*

Este tipo de discapacidad se divide en dos, la primera y más popular es la pérdida total de la visión o ceguera, y la menos conocida es la disminución parcial, la cual, la más frecuente.

### **Discapacidad visceral**

Este tipo de discapacidad es la que muy pocas personas conocen, y, de hecho, forma parte de las más frecuentes. Una discapacidad visceral corresponde a aquellas personas que tienen alguna deficiencia de la función de un órgano interno. A continuación, en la figura 3.15 se muestra la imagen visual o símbolo de una persona con discapacidad visceral.



*Figura 3.15: Discapacidad visceral*

Esta discapacidad se manifiesta cuando alguien tiene una deficiencia cardíaca, es diabético, siempre que no correspondan a impedimentos motores, de los sentidos o intelectuales.

### **Discapacidad intelectual**

Esta discapacidad es definida como el estado de una persona, pues no puede llamarse enfermedad ya que no se cura y acompañará al individuo durante toda su vida. A continuación, en la figura 3.16 se muestra la imagen visual o símbolo de una persona con discapacidad intelectual.



*Figura 3.16: Discapacidad intelectual*

### 3.3.2. Raspberry Pi 3

#### ¿Qué es una Raspberry Pi 3?

##### RASPBERRY PI 3 modelo B

La Raspberry Pi se puede considerar como un mini ordenador de pequeñas dimensiones, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido. El precio de la placa es muy económico lo que la hace apta para desarrollar pequeños prototipos. Esta placa cuenta con sistemas operativos GNU/Linux como Raspbian. La placa también cuenta con acceso a Wifi y Bluetooth lo que la hace apta para prototipos con comunicación. A la Raspberry Pi la han definido como una maravilla en miniatura, que guarda en su interior un importante poder de cómputo en un tamaño muy reducido. Es capaz de realizar cosas extraordinarias, (Cervantes, 2015) en la figura 3.17 se muestra la imagen de una Raspberry Pi 3 modelo B.



Figura 3.17: Raspberry Pi 3 modelo B

#### Especificaciones técnicas:

- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1 GB de RAM
- BCM43438 wireless LAN y Bluetooth Low Energy (BLE)

- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- HDMI de tamaño completo
- Puerto de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Puerto Microusb para cargar su sistema operativo y almacenar datos
- Fuente de alimentación Micro USB conmutada mejorada hasta 2.5<sup>a</sup>

### **¿Cómo funciona?**

¿Alguna vez pensaste en usar una mini computadora o mini servidor para poder ejecutar ciertas funciones o programas? Un dispositivo que puedas alimentar con tu propio cargador casero, y al mismo tiempo nos de la opción de hacerlo en cualquier lugar. Algo que nos sirva para manipular multimedia o simplemente visualizar proyectos con una pantalla LCD y utilizarlo como monitor de usuario. Una mini PC que nos permita cargarla como si fuese un celular, navegar en internet, jugar juegos en línea, usarla como base de estructura para prototipaje, utilizarla para programar en diferentes lenguajes; todo lo anterior es posible con una Raspberry Pi. La potencia de una RaspPi es equivalente a la de un ordenador Prentium 2 a 300MHz, pero con un nivel gráfico por encima del Prentium 2; el rendimiento gráfico es superior al de un iPhone 4S (Doutel, 2012). A continuación, en la figura 3.18 se muestra la imagen de todos los puestos y conectores de la Raspberry Pi3.

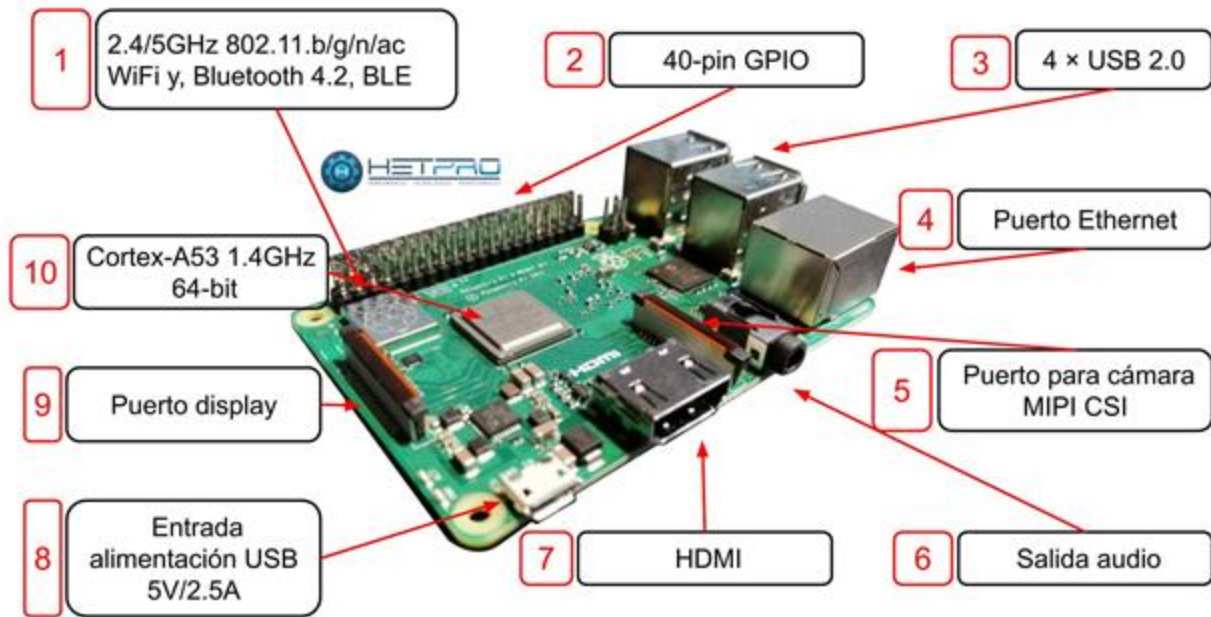


Figura 3.18: Conexiones de Raspberry Pi modelo B

### ¿Qué necesitamos para empezar?

La Raspberry tiene un costo aproximado de 999 pesos mexicanos, actualmente. Lo único que necesitas para encenderla en un conector micro-USB a cinco voltios y tres amperes (de preferencia) y la “mini PC” será alimentada correctamente (si tienes un cargador de celular que cumpla con estos requisitos puedes utilizarlo sin problemas, el amperaje del cargador puede ser de uno a tres amperes. Si estás pensando en darle un uso óptimo a la Raspberry Pi, ubícala en un espacio fresco (evita superficies metálicas) y asegúrate de que no se caliente; actualmente ya venden cajas especiales con ventiladores para evitar su calentamiento (Doutel, 2012).

Las Raspberry Pi ya cuentan con una memoria RAM (512 MB en el modelo B), su procesador ARM 11, su GPU para visualizar vídeos a 1080p y audio de alta calidad por medio de HDMI. Lo único que se necesita para echarla a andar es instalarle su sistema operativo (en la mayoría de los casos Raspian para “noobs” cuando se es principiante),

para esto es necesario proveerle una tarjeta SD con 4GB de preferencia (Doutel, 2012). En la figura 3.19 se muestra la imagen de cómo se conecta una Raspberry Pi.



*Figura 3.19: Ejemplo de conexión de Raspberry Pi*

### **¿En que se utiliza?**

Puede utilizarse como servidor web de bajo consumo y construirte tu propia Smart tv, como servidor de impresión y hacerte tu propia nube, como localizador GPS, etc. Existen miles de proyectos en internet para sacarle el máximo.

### **Diferencias entre Raspberry Pi 2 y Raspberry Pi 3**

La familia de la Raspberry Pi tiene un nuevo integrante. Se trata de la nueva Raspberry Pi 3 Modelo B +, la sucesora de la Raspberry Pi 3 Modelo B lanzada en 2016. El nombre puede resultar un poco confuso, pero vale para que veamos que no se trata de una cuarta generación de esta popular saga de micro PCs, sino de una versión mejorada de su modelo de tercera generación.

La nueva Raspberry Pi 3 Modelo B + sería en esencia muy parecida al modelo anterior, aunque sería hasta un 16 por ciento más rápida. Esto sería gracias a contar con un procesador mejorado, y unas conectividades Wifi y Ethernet que también se mejoran. El precio de salida es el mismo, 35 dólares, pero puedes esperar hasta 5 euros de diferencia en las tiendas.

Como puedes ver en la tabla, una de las principales mejoras de este nuevo modelo está en el aumento de la frecuencia de su CPU, que pasa de los 1,2 GHz del modelo B a los 1,4 GHz en el B + de tercera generación. También mejorará su gestión térmica, aunque la memoria RAM se mantendrá en un giga. A continuación, en la figura 3.20 se muestran las diferencias de los GPIO entre diferentes Raspberry Pis.

### GPIO

Raspberry Pi B Rev 1 P1 GPIO Header			Raspberry Pi A/B Rev 2 P1 GPIO Header			Raspberry Pi B+ B+ J8 GPIO Header		
Pin No.			Pin No.			Pin No.		
3.3V	1	2	3.3V	1	2	3.3V	1	2
GPIO0	3	4	GPIO2	3	4	GPIO2	3	4
GPIO1	5	6	GPIO3	5	6	GPIO3	5	6
GPIO4	7	8	GPIO4	7	8	GPIO4	7	8
GND	9	10	GND	9	10	GND	9	10
GPIO17	11	12	GPIO17	11	12	GPIO17	11	12
GPIO21	13	14	GPIO27	13	14	GPIO27	13	14
GPIO22	15	16	GPIO22	15	16	GPIO22	15	16
3.3V	17	18	3.3V	17	18	3.3V	17	18
GPIO10	19	20	GPIO10	19	20	GPIO10	19	20
GPIO9	21	22	GPIO9	21	22	GPIO9	21	22
GPIO11	23	24	GPIO11	23	24	GPIO11	23	24
GND	25	26	GND	25	26	GND	25	26
						DNC	27	28
						GPIO5	29	30
						GPIO6	31	32
						GPIO13	33	34
						GPIO19	35	36
						GPIO26	37	38
						GND	39	40

Key	
Power +	UART
GND	SPI
I <sup>2</sup> C	GPIO

Figura 3.20: Diferencia entre Raspberry Pi 2 y 3

Otro de los grandes cambios está en la conectividad Wifi, que pasa a ser de doble banda para quienes quieran prescindir de la saturada banda de 2.4 GHz para empezar a aprovechar las de 5 GHz. Además, el ancho de banda de la conectividad Ethernet se triplica, pasando de los 100 Mb/s del modelo anterior a los 300 Mb/s en el recién presentado.



Pero todo lo demás sigue igual, la nueva Raspberry Pi 3 Modelo B + mantendrá los mismos puertos y el mismo tamaño que su predecesora, y la única otra diferencia que veremos es que el Bluetooth también se ha actualizado de la versión 4.1 a la 4.2. Esta continuidad en sus dimensiones y factor forma significa que si decides comprarla podrás seguir utilizándose en los mismos proyectos y carcasas en las que tenías la versión anterior.

El lanzamiento ha llegado sólo un par de meses después de que Eben Upton, creador de las Raspberry Pi, nos dijese que la cuarta generación no llegará durante este año. Por lo tanto, si quieres esperar a mejoras más significativas tendrías que esperar todavía hasta el año que viene, mientras que si tienes suficiente con algo más de potencia esta alternativa es más que válida.

### **3.3.3. Python**

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible.

Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.

Python es un lenguaje de programación multiparadigma. Esto significa que más que forzar a los programadores a adoptar un estilo particular de programación, permite varios estilos: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional. Otros paradigmas están soportados mediante el uso de extensiones.

Python usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria. A continuación, en la figura 3.21 se muestra el logo de Python.



Figura 3.21: Logotipo de Python

Una característica importante de Python es la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos).

Otro objetivo del diseño del lenguaje es la facilidad de extensión. Se pueden escribir nuevos módulos fácilmente en C o C + +. Python puede incluirse en aplicaciones que necesitan una interfaz programable.

Aunque la programación en Python podrá considerarse en algunas situaciones hostil a la programación funcional tradicional del Lisp, existen bastantes analogías entre Python y los lenguajes minimalistas de la familia Lisp como puede ser Scheme.

### 3.3.4. Inteligencia Ambiental

La inteligencia artificial la dividiremos en tres partes, ya que son los tres apartados de IA que utilizamos dentro del estado del arte. A continuación, nombramos los apartados y sus definiciones generales:

## Ambientes Inteligentes

Los ambientes inteligentes operan ambientes físicos en los cuales las tecnologías de la información y la comunicación pasan imperecibles para los favorecidos, puesto que se hallan juiciosamente dentro de objetos físicos, construcciones, y al entorno habitual. El objetivo de estos sistemas, es el de admitir que sensores y actuadores trabajen en nuevos campos de investigación e innovación. Por lo anterior dicho, estaríamos ayudándole a la sociedad a interactuar con los otros dispositivos por medio de gestos, voz o movimientos. A continuación, en la figura 3.22 se muestra un ejemplo de ambientes inteligentes (Pinargote, 2014).



*Figura 3.22: Ambiente inteligente*

## Agente Inteligente

Los agentes inteligentes se pueden representar como sistemas genéricos. Por esta razón, también son llamados Agentes Inteligentes Abstractos (AIA) para diferenciarlos de sus ejecuciones como sistemas informáticos, orgánicos, o de colocaciones. A continuación, en la figura 3.23 (Pinargote, 2014) se muestra un ejemplo de agente inteligente.

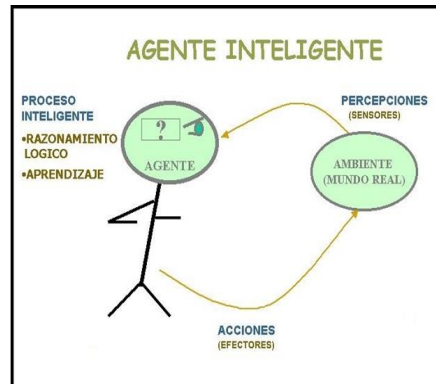


Figura 3.23: Agente inteligente

La palabra agente inteligente puede ser utilizada para describir a un agente que se programa por computador o que cuenta con algo de inteligencia. Por ejemplo, programas autónomos utilizados para asistencia de un especialista o de explotación de datos son también llamados "agentes inteligentes".

## Lógica difusa

La lógica difusa se utiliza cuando ya no podemos basarnos únicamente en un SÍ/NO o un I/O, un ejemplo de la lógica difusa podría ser: calcular la cantidad de vasos en el mundo y saber que tan llenos de agua se encuentran, la mayoría no están vacíos ni se encuentran hasta el tope. Evidentemente, hay dos situaciones opuestas que reconocemos sin ninguna duda (vacío y lleno), pero el problema radica en que, si el vaso no cuenta con una gota antes de estar completamente lleno u observamos que cuenta con unas pequeñas gotas en su interior. Para afirmar su condición, en la frase anterior no solo he usado el término lleno, sino que he añadido un modificador diciendo completamente lleno. La lógica difusa se utiliza para poder llevar un equilibrio y poder distinguir algo más que un SÍ o un NO. (Caparrini, 2019)

### 3.3.5. Internet de las Cosas

El internet de las cosas actualmente está causando que lo antes imaginado se haga realidad; con ayuda de la inteligencia artificial se han logrado desarrollar tecnologías y métodos extraordinarios en la industria. La combinación del internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) han concientizado a las empresas de esta generación y modificaron la forma de visualizar el crecimiento industrial. Esta nueva ciencia/tecnología permite que las “maquinas inteligentes” tomen sus propias decisiones y se comporten de formas más inteligentes, de esta forma son capaces de prevenir ciertas causas y necesitan muy poca interacción humana. A continuación, en la figura 3.24 se muestra un ejemplo visual del internet de las cosas (Banafa, 2017).

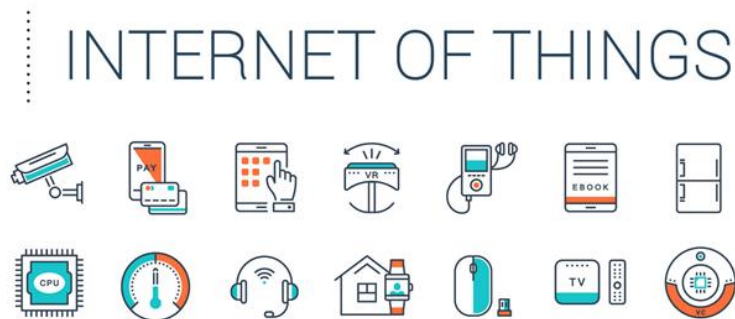


Figura 3.24: Internet de las cosas

El IoT es capaz de ejercer más velocidad y mayor precisión de análisis de datos con la IA,

Compilar los datos es un tema, sin embargo, establecer, analizar y hacer que estos datos cobren sentido es totalmente diferente. A continuación, se muestran algunos ejemplos de datos del IoT (Banafa, 2017):

- Datos que ayudan a predecir incidentes y infracciones.
- Datos de marcapasos o biochips en tiempo real para ayudar a los médicos.
- Datos sostenimiento predictivo de equipos y maquinaria.
- Datos de electrodomésticos.
- Datos de comunicación entre automóviles de arrendamiento.

### 3.3.6. Sensores y Actuadores

#### Módulo flama

El módulo AR-FLAME (KS-0036) es un sensor que permite detectar fuego u otras fuentes de luz cuya longitud de onda se encuentre en el rango de los 760 nm hasta los 1100 nm.

Se dispone de un potenciómetro que permite ajustar la sensibilidad del sensor para adecuarlo a las necesidades del proyecto, así como dos salidas una digital y una analógica para utilizar la que más se adapte a el uso establecido.

Como ejemplo este sensor puede implementarse en un robot para combate contra incendios. Incluso puede usarse como un medio de control de flamas para cortar el suministro de gas si no se produce una flama en sistemas de calefacción, boiler, estufas y hornos. A continuación, en la figura 3.25 se muestra la imagen de un módulo flama.



Figura 3.25: Módulo flama

### Especificaciones técnicas:

- Dimensiones: 44 mm x 17 mm x 7 mm
- Material: fr-4
- Peso: 4 gramos
- Voltaje de operación: 3.3 – 5.0 vcc
- Longitud de onda: 760nm – 1100nm
- Rango de detección: 20cm (4.8v) – 100cm (1v)
- Ángulo de visión: 60°
- Tipo de sensor: digital
- Temperatura de operación: -25°c +85°c

### Sensor de gas

Este es un sensor muy sencillo de usar (el MQ2 es sensible a LPG, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno y humo), el módulo posee una salida analógica que proviene del divisor de voltaje que forma el sensor y una resistencia de carga. La ideal para medir las concentraciones de gas natural en el aire. Puede detectar concentraciones desde 300 hasta 10000 ppm.

Nota: La resistencia del sensor cambia de acuerdo a la concentración del gas en el aire. A continuación, en la figura 3.26 se muestra la imagen de un módulo de detección de gas.

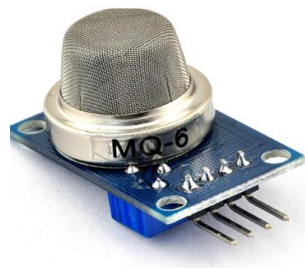


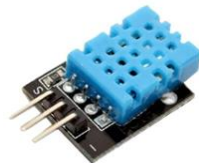
Figura 3.26: Módulo gas

### Especificaciones técnicas:

- Voltaje de Operación: 5VDC
- Respuesta rápida y alta sensibilidad
- Rango de detección: 300 a 10000 ppm
- Gas característico: 1000 ppm, Isobutano
- Resistencia de sensado: 1K $\Omega$  50 ppm Tolueno a 20K $\Omega$  in
- Tiempo de Respuesta:  $\leq$  10s
- Tiempo de recuperación:  $\leq$  30s
- Temperatura de trabajo: -20  $^{\circ}$ C ~ +55  $^{\circ}$ C
- Humedad:  $\leq$  95% RH
- Contenido de oxígeno ambiental: 21%
- Consume menos de 150 mA a 5V.

### Sensor DHT

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. A continuación, en la figura 3.27 se muestra el sensor de temperatura DHT.



*Figura 3.27: Sensor DHT*



Utilizar el sensor DHT11 con las plataformas Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT11 a un mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fábrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y habilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m., de preferencia utilizar cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV).

## Relevador

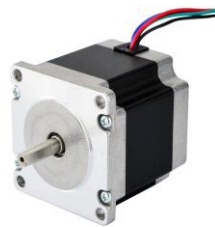
Un relevador es un interruptor que puede ser controlado eléctricamente. Este dispositivo también puede entenderse como un controlador electro-mecánico. Fue inventado por el científico estadounidense Joseph Henry quien descubrió el fenómeno electromagnético de autoinductancia e inductancia mutua. Este principio le permitió crear un tipo de electroimán que al activarse puede controlar a un interruptor, este es el principio del relevador. A continuación, en la figura 3.28 se muestra el módulo relevador.



Figura 3.28: Módulo relevador

## Motor a pasos

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. Estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada o bien totalmente libres de corriente. A continuación, en la figura 3.29 se muestra un motor NEMA 17 a pasos.



*Figura 3.29: Motor a pasos*

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de  $1.8^\circ$ . Es por eso que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.

## Servomotor

Un servomotor es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado. Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición. A continuación, en la figura 3.30 se muestra un servomotor a un kilo.



*Figura 3.30: Servomotor*

Un servomotor (o servo) es un tipo especial de motor con características especiales de control de posición. Al hablar de un servomotor se hace referencia a un sistema compuesto por componentes electromecánicos y electrónicos.

### **3.3.7. Tecnologías de Comunicación Inalámbrica**

Todo nuestro entorno hoy en día está conectado, la mayoría de las veces lo hace sin utilizar cables. Las redes inalámbricas son hoy tan públicas que no nos damos cuenta de lo mucho que dependemos de ellas. Podemos encontrar otros tipos de redes aún utilizadas, pero estas están siendo sustituidas por los sistemas inalámbricos rápidamente. Existen varios tipos de redes inalámbricas diferentes, a continuación, se nombran las más comunes y una breve descripción de ellas:

#### **Bluetooth**

El Bluetooth es uno de los métodos con el que más acostumbrados estamos. Lo usamos para escuchar música del celular en altavoz de forma inalámbrica, para hablar por celular con las manos libres o para sincronizar tus Smart-devices a través de aplicaciones. Esta tecnología nace de la mano de Ericsson y un grupo de compañías. El trabajo en unión de todas estas compañías hizo que esta tecnología tuviera una rápida

aceptación por parte de los fabricantes y que pronto la convertiremos en parte de nuestro día a día. A continuación, en la figura 3.31 se muestra el logo del Bluetooth.



*Figura 3.31: Bluetooth*

#### Características:

- Está orientada a la conexión punto a punto o red de malla de pocos nodos.
- Velocidad máxima de transmisión de datos 2Mbps.
- Opera en la banda ISM libre entre los 2.402 y los 2,480GHz, por lo que no requiere de ninguna licencia.
- Su alcance depende de la potencia de emisión con la que disponga el equipo transmisor y si estamos en interior o al aire libre.
- Su uso está principalmente enfocado a ordenadores de sobremesa, portátiles, dispositivos móviles o de salida de audio, manos libres, dispositivos deportivos o de domótica e incluso en juguetes, tecnología médica o industria.
- Dificultad para atravesar ciertos obstáculos como paredes.

#### WiFi

Junto con el Bluetooth, nos queda bastante claro que nos sirve para conectarnos a Internet desde el celular en cualquier parte de forma inalámbrica cuando necesitamos trabajar. nos permite que la tecnología inalámbrica funcione como transmisión de datos,

por ejemplo, conectarte a tu cámara de fotos y transferir las imágenes sin necesidad de utilizar ningún cable.

WiFi viene de Wireless Fidelity, se trata de una tecnología inalámbrica de transmisión de datos utilizada para Internet basada en ondas de radio. Ahora bien, las frecuencias que se utilizan son distintas, concretamente el WiFi utiliza la de 2,4GHz y 5GHz. A continuación, en la figura 3.32 se muestra el logo del Wifi.



*Figura 3.32: Wifi*

#### Características:

- Permite la conexión a Internet de diferentes dispositivos y puede usarse también para conectar dispositivos entre sí dentro de una red.
- Velocidad máxima de transmisión de datos 9,6Gbps para WiFi 6.
- Opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y 5GHz
- Su alcance depende de muchos factores, pero es mucho mayor al del Bluetooth.
- Su uso es quizás el más extendido y de ahí que a día de hoy podamos encontrar un montón de dispositivos conectados.
- Dificultad para atravesar ciertos obstáculos y puede encontrar interferencias con otras ondas que emiten en las mismas frecuencias.

#### Zigbee

Las primordiales ventajas de esta tecnología es que ayuda a impedir la saturación de la red, algo muy significativo cuando son muchos los emisor-receptor de datos conectados a una misma red, es más simple y económica que el Bluetooth o WiFi y

ofrece ahorro de energía. Las principales desventajas por otro lado son la necesidad de usar un dispositivo que haga la conexión y que las distancias de comunicación sean menores. Además, el hecho de que Zigbee sea un protocolo abierto permite que ciertos fabricantes puedan modificarlo para que los hubs solo sean compatibles con sus propios dispositivos. A continuación, en la figura 3.33 se muestra el logo del Zigbee.



*Figura 3.33: Zigbee*

#### Características:

- Es un protocolo abierto.
- Principalmente para uso en la domótica, sensores, recolección de datos que no requieren de altas velocidades, juguetes, etc.
- Requiere del uso de un dispositivo puente o hub.
- Alcance reducido, entre 10 y 20 metros.
- Sistema de red en malla.
- Los dispositivos no se conectan de forma individual a Internet.
- Ofrece un bajo consumo de energía.
- Velocidades de transferencia de datos muy bajas, velocidad definida de 250 kbit/s.

## La mejor elección para nuestro agente

En la actualidad, una de las tecnologías más importantes del siglo XXI es el Internet de las cosas. El IoT nos permite conectarnos inalámbricamente por medio del internet a casi todos los aparatos electrodomésticos que existen en nuestros hogares, incluyendo objetos que utilizamos en el día a día, esto se realiza a través de dispositivos integrados; haciendo posible la conexión inalámbrica fluida entre personas, procesos y cosas (Lzeo, 2020).

La cabida que tiene el IoT para suministrar datos de los sensores, así como para realizar la comunicación a través de dispositivos nos da una gran variación de creaciones innovadoras. Vivimos en un mundo hiperconectado, los sistemas digitales actualmente pueden monitorear, controlar y pactar cada interacción entre las cosas conectadas. A continuación, se enumeran algunas de las aplicaciones más populares y lo que hacen (Lzeo, 2020).

- supervisión de máquinas y de la calidad de los productos.
- permite a las empresas determinar rápidamente la ubicación de los activos.
- Usar accesorios para supervisar el análisis de la salud humana y las condiciones ambientales.
- Promover eficiencias y nuevos medios en los procesos existentes.
- Proporcionar los cambios de procesos empresariales necesarios.

## Capítulo 4. Diseño del sistema

### 4.1. Metodología de desarrollo

Se diseñará y construirá un agente inteligente disfrazado de mesa para el cuidado de personas con alguna discapacidad o envejecimiento, el sistema deberá ser capaz de mantener un seguimiento adecuado de los medicamentos del “paciente”.

El proyecto se dividirá en tres dispositivos, dos de ellos inalámbricos y el tercero será la PC.

- El dispositivo alámbrico (mesa) contendrá luces de rápido acceso, conectores visibles y alcanzables y que pueda llevar un registro de los medicamentos y horarios de consumos.
- Los otros dos dispositivos contarán con sensores inalámbricos para el monitoreo de la habitación.

La metodología realizada en este proyecto fue la siguiente:

- Se partió de un problema común en muchos hogares y se planteó una solución desde el punto de vista de la línea de investigación “Ambientes Inteligentes”.
- El siguiente paso consistió en buscar un dispositivo que nos permitiera realizar el control de una serie de sensores y actuadores para hacer más comfortable la estancia de una persona con poca movilidad (vulnerable), en este caso se trabajó con una Raspberry Pi 3.
- Posteriormente, se realizaron las conexiones adecuadas para el funcionamiento de la Raspberry Pi, se descargó el sistema operativo, se instaló el sistema junto con las librerías necesarias para los módulos a utilizar y se probaron las librerías en la terminal de la Raspberry Pi para ver si estaban instaladas adecuadamente.
- Luego se procedió a elegir los elementos que fueran factibles de ser automatizados y se llegó a la conclusión de que cualquier elemento eléctrico



puede ser controlado con un sistema I/O, para lo cual se usaron los puertos GPIO de la Raspberry Pi.

- Para poder empezar a automatizar, se debe crear un programa en Python que controle los puertos GPIO. Para poder llevar esto a cabo se tomarán los sensores como entradas (lecturas) y los actuadores como salidas (escrituras).
- Una vez que los actuadores empiecen la escritura de datos, se realizará la programación del almacenamiento de registros en Python, esto se llevará a cabo para poder llevar un registro de los medicamentos consumidos durante el día.
- Ya que los sensores y actuadores están respondiendo debidamente y el registro mantenga un orden correcto, se diseñará la estructura de la mesa en SolidWorks, los materiales seleccionados durante el diseño serán aptos para la estructura y el modelo de la mesa se realizará lo más seguro que se pueda.
- Cuando la estructura diseñada sea segura, se idearon los mecanismos de activación para poder implementarlos e investigar formas de hacerlos más seguros y cómodos. Terminando los mecanismos, se rediseñará la estructura para incorporar los mecanismos y las alturas que requieran.
- Antes de construir la mesa, se deben probar los sistemas mecanismo que se acoplaron. Una vez que funciones adecuadamente se procederá a construir la mesa diseñada de forma física y agregar los sistemas mecánicos.
- Para terminar la mesa, se realizarán las pruebas adecuadas para asegurar la estructura (equilibrio, proporciones, altura, material, seguridad, comodidad), también se realizarán pruebas de conexión y nos aseguraremos de que el programa esté funcionando correctamente.
- Por último, se implementará la lógica difusa e incorporará dentro del programa para poder monitorear al paciente o en este caso, la persona vulnerable que necesita del sistema.

## 4.2. Escenario de la situación problemática

*Don Leoncio, trabajó durante 30 años para una empresa privada y cuando la empresa decidió que su cuerpo ya estaba muy cansado se dispusieron a jubilarse. Leoncio intentó dar clases en una universidad privada para poder llevar un poco más de dinero a casa, pero a los 60 años de edad lo descansaron, debido a un accidente en el trabajo, donde se cayó y se lastimó la cadera. Don Leoncio perdió a su esposa hace dos años y el único recuerdo que tiene de ella son sus dos hijos: Diana y Leo. Tomando en cuenta lo pesado que es el matrimonio y mantener hijos, Diana y Leo aún no han buscado casarse para poder llevar a cabo sus obligaciones. Ambos hijos viven solos y son completamente independientes. Actualmente Don Leoncio cuenta con 85 años de edad, y vive una vida muy rutinaria debido a que es el único habitante dentro de su hogar. Leoncio fue pronosticado con diabetes hace 15 años y desde entonces ha tenido que tomar medicamentos diariamente, hace 5 años le diagnosticaron arterial periférica después de haber sufrido un ataque cardíaco y cuando falleció su esposa entró en depresión por lo que le recetaron antidepresivos fuertes y medicamentos para proteger su estómago de todos los ácidos que provocan los demás medicamentos.*

*La rutina de Leoncio es muy repetitiva, debido a su edad él ya no puede ni tiene ganas de estar en toda la casa así que, sus hijos decidieron que se utilizará únicamente la planta baja de la casa para evitar las escaleras. La planta baja cuenta con: un cuarto amueblado que incluye ropero y cama (normalmente no duerme ahí porque se queda dormido en el sofá), un baño completo donde cada dos días su hijo le ayuda a bañar, una cocina donde guarda la comida congelada que le deja su hija para la semana, junto con el microondas para calentarla y una sala donde se sienta a ver sus novelas favoritas. Todos los días son iguales, comer, ver televisión, hablar por teléfono y juegos de mesa para distraerse. Los domingos son el único día que su hija tiene tiempo de visitarlo y lo acompaña por las tardes, le lee un poco y le prepara comida recién hecha. Diana y Leo desearían poder pasar más tiempo con su padre, pero sus trabajos y obligaciones no se los permiten, Diana es administradora y trabaja dos turnos para poder ahorrar y comprarse una casa y Leo es ingeniero mecatrónico de planta y termina agotado terminando su jornada de trabajo.*

*Queremos ayudar a las personas vulnerables, es nuestro deber como ciudadanos, personas sociales y morales e investigadores apoyar a nuestros seres amados y a nuestra comunidad. Es por ello que decidimos ayudar a Don Leoncio, diseñando un multiagente que se acople a sus necesidades. El sistema multiagente que planeamos diseñar, es un sistema que le ayudaría a Don Leoncio a sentirse más cómodo y seguro dentro de su hogar, ya que como una persona de la tercera edad y con poca movilidad él no tendría que esforzarse tanto. Podría cargar su celular inmediatamente, prender luces que le ayuden a visualizar su entorno, tendría una mesa deslizante para disfrutar sus comidas en la sala mientras ve sus novelas, tendría un dispositivo que le ayudará a saber cuáles medicamentos debe tomar y a qué hora se los tiene que tomar, sus hijos podrían llevar el registro de los medicamentos que toma y las horas exactas en los que se los toma. Tener un registro de los medicamentos y los horarios en los cuales un paciente consume sus medicamentos podría salvarles la vida si llegase a ocurrir un accidente o si llegaran a tener alguna alergia. El sistema multiagente les ayudaría a sus hijos a no preocuparse tanto por el bienestar de su padre ya que será diseñado con materiales nobles y su estructura no contará con esquinas peligrosas. Este sistema es un ayudante y no reemplaza el amor y la atención de sus hijos, pero sí le ayudará a estar más cómodo dentro de su hogar y que las horas de espera para poder ver a sus hijos sean más seguras.*

*Casos como el de Don Leoncio existen en todo México ya que, en todas partes tenemos personas de la tercera edad o discapacitados que necesitan ayuda de terceros o simplemente no tienen facilidad de movimiento. Está el caso de Doña Lupita, quien se lastimó la espalda baja intentando cerrar la ventana de su sala, Doña Ester quien tiene alzhéimer y no puede recordar tomar sus medicamentos o comer a sus horas, también está el caso de Hazael, quien nunca se casó y no cuenta con quien le ayude a realizar sus labores diarias o quien lo visite y no se diga las personas discapacitadas quienes en la mayoría de los casos no pueden estar solas porque son muy dependientes.*

## **4.3. Características del sistema propuesto**

### **4.3.1. Agente Inteligente**

Una unidad que logra trabajar con hardware y software de forma independiente se considera un agente, los agentes inteligentes tienen algunas características que los distinguen como:

Los agentes están desarrollados para dirigirse a ellos, son adaptativos y auto-configurables. Cada agente es capaz de entender su situación y se adapta a los entornos cambiantes a través de la autoconfiguración. La percepción de la situación se logra a través del aprendizaje y el modelado contextual de los datos de eventos. Después de que se aprenda un conjunto de bases contextuales a partir de datos de eventos de alta dimensión, los coeficientes contextuales agrupados pueden representar diferentes escenarios. A continuación, los agentes pueden percibir la situación y localizar regiones de interés (Rols) a través de escenarios identificados. Cada agente tiene una máquina de estado de comportamiento y una biblioteca de comportamiento; elegir un cierto comportamiento de acuerdo con los objetivos individuales y el comportamiento de otros agentes.

### **4.3.2. Requisitos del proyecto**

Los dispositivos que se utilizarán son: A Raspberry Pi 3 como el cerebro del agente inteligente que registrará todos los datos y dos ESP que funcionarán como monitores, vigilarán la casa para estar seguros de la seguridad (sin fugas de gas y control de temperatura). Esto se hace porque el anciano no siempre se queda en la sala de estar y queremos saber si sus niveles de temperatura son apropiados, además, el anciano con frecuencia se olvida de apagar la estufa o tiene fugas de gas y no lo sabe.

En el cerebro (Raspberry Pi) tendrá algunos sensores y algunos actuadores que son: Un sensor DHT (sensor de temperatura) que leerá la temperatura del anciano en la sala de estar, un sensor táctil que controlará la luz que se unirá debajo de la mesa para

que pueda ver el suelo y prevenir cualquier accidente. Varios tornillos motores e interminables para proporcionarle las píldoras requeridas (se activarán cuando el horario programado lea que es hora de tomar sus medicamentos) y un zumbador que se activará cuando sea el momento de tomar las píldoras y no se apagará hasta que el mayor presione el botón que indica que él toque las píldoras y cuando lo hace el programa registrará automáticamente la fecha y hora que toque la píldora.

En uno de los ESP tendrá un sensor de temperatura (DHT) y un ventilador. Este dispositivo se ubicará en el centro de la casa (si se trata de una casa pequeña) o en un lugar donde el anciano puede localizar su ventilador y llegaría a ellos, el dispositivo será inalámbrico.

El segundo ESP contará con un sensor de gas para leer fugas de gas y un incendio y un sensor de temperatura para prevenir accidentes de incendios, este sensor también será inalámbrico y se ubicará en la cocina de la casa del anciano.

## **4.4. Diseño de la propuesta de solución**

### **4.4.1. Proceso electrónico**

Lograr este proyecto requerirá mucho trabajo electrónico, tenemos que empezar a programar los sensores de gas y temperatura en Python que se programará como entradas analógicas, a continuación, programamos el ventilador y la prueba de potencia con la Raspberry Pi. Después de diseñar el programa Python básico con entradas y salidas comunicamos las pruebas ESP y Raspberry Pi y Wifi, cambiamos los programas a los ESP y añadimos las notificaciones de zumbador.

Los que terminamos la comunicación Wifi entre la Raspberry pi y el ESP empezamos a programar el sensor táctil para que podamos empezar a diseñar la placa de circuito y proporcionar los cables y dispositivos para la segunda etapa del proyecto, construyendo la estructura.

Crearemos el diseño de la mesa en SolidWorks, añadiremos mecanismos a la mesa, decoramos la mesa, añadiremos los motores y tornillos sin fin a la caja de pastillas y diseñaremos la placa de circuito final.

Una vez finalizado, proporcionaremos material para correcciones, en caso de cualquier error o dificultad técnica y realizaremos cualquier corrección en mecanismos o programas.

#### 4.4.2. Diseño electrónico

Como se muestra en la figura 4.1, se utilizará un dispositivo electrónico para realizar la lectura del sensor, un programa ordenará las acciones de los actuadores y analizará el programa para aplicar la lógica difusa.

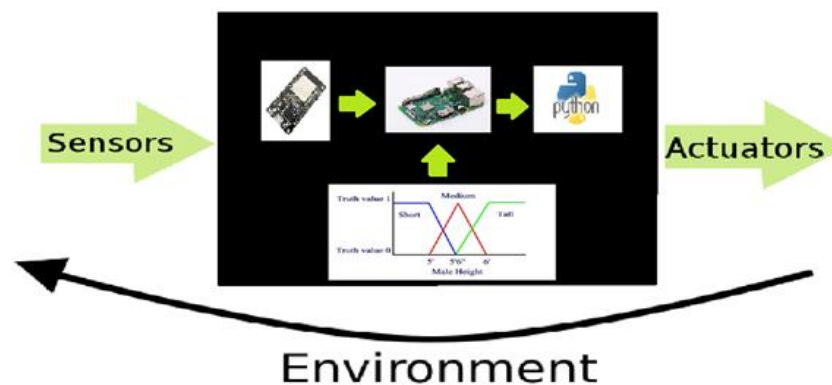


Figura 4.1: Ambiente

En este caso, la Raspberry Pi 3 se utilizará en comunicación con el ESP para que pueda comunicarse de forma inalámbrica a través de Wi-Fi, los sensores que escribirán los datos serán: un sensor de gas, un sensor de llama, 3 DHT22, y algunos botones táctiles, los actuadores que reaccionan a la escritura y programación de datos serán:

motores con tornillos interminables, un zumbador y un sistema de registro dentro de un documento Raspberry Pi.

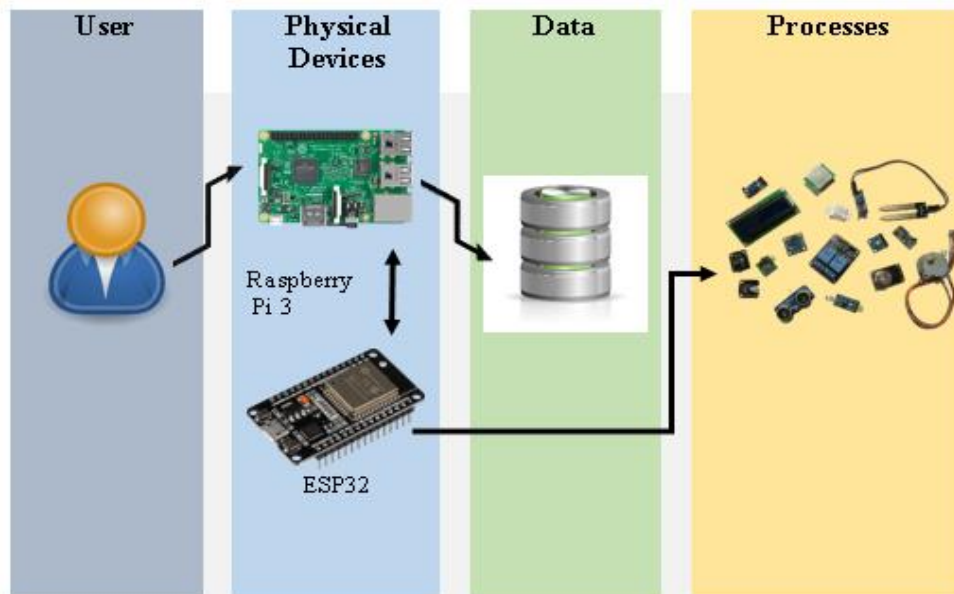


Figura 4.2: Diseño electrónico

Como se muestra en la figura 4.2, la Raspberry pi actuará como CPU y el centro de comunicación entre los dos ESP conectados a través de Wi-Fi. El ESPs se conectará a los sensores de llama, gas, temperatura, tacto, motor, zumbador y ventilador a través de un actuador de relés. Cuando se hace la lectura, estas lecturas wifi se registran dentro de un.txt en la PCU.

#### 4.4.3. Diseño físico

El agente inteligente se disfrazará de mesa, que tendrá una sección para la caja de pastillas que incluirá los motores y los tornillos sin fin para su movimiento. La tabla

también tendrá un zumbador para las notificaciones y un ESP que controla la caja de pastillas y el zumbador y un sensor táctil con el DHT que mide la temperatura ambiente.

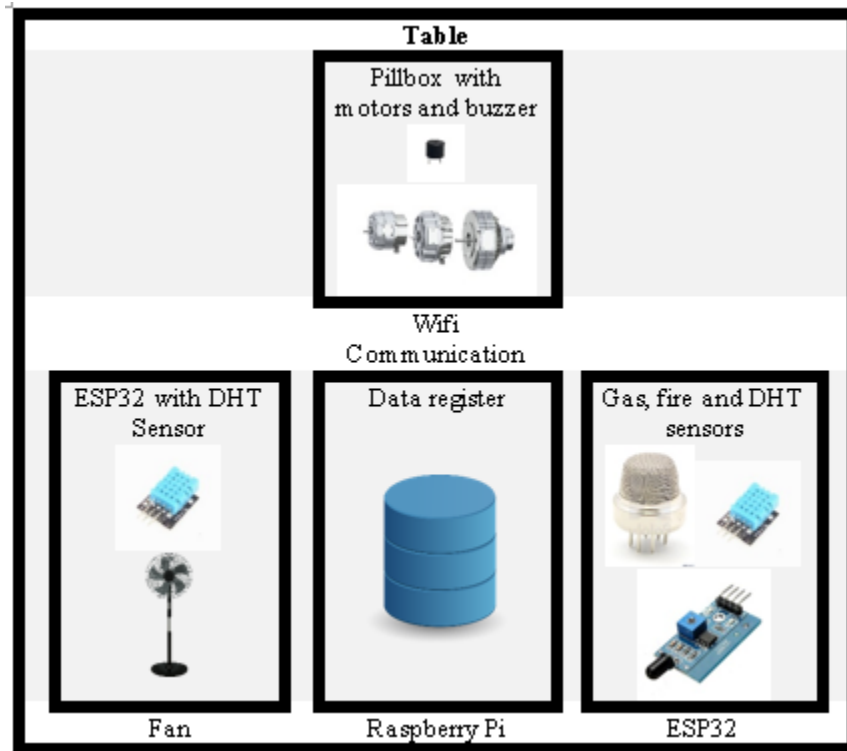


Figura 4.3: Diseño físico

La Figura 4.3 muestra que el agente inteligente se comunicará a través de una conexión WiFi con un ventilador que se conectará a un ESP para que pueda reaccionar automáticamente con la temperatura ambiente. Se instalará un ESP en la cocina para que a través de un sensor de gas y llama pueda proporcionar seguridad. El cerebro del agente, que registrará los datos obtenidos será inalámbrico y móvil a través de una Raspberry Pi.



## 4.5. Diseño de los Agentes

### 4.5.1. Agente 1: Mesa y Dispensador

Para realizar de forma física el diseño pensado para la mesa, lo primero que se investigó fueron los dispositivos y componentes a utilizar para el sistema. En este caso se optó por utilizar una Raspberry Pi B ya que, es un dispositivo esencial para empezar un prototipo. El diseño físico de la mesa se desarrolló en SolidWorks, donde se crearon los pliegues para la construcción del modelo. En la figura 4.4 se muestra el agente 1, la parte de la mesa.

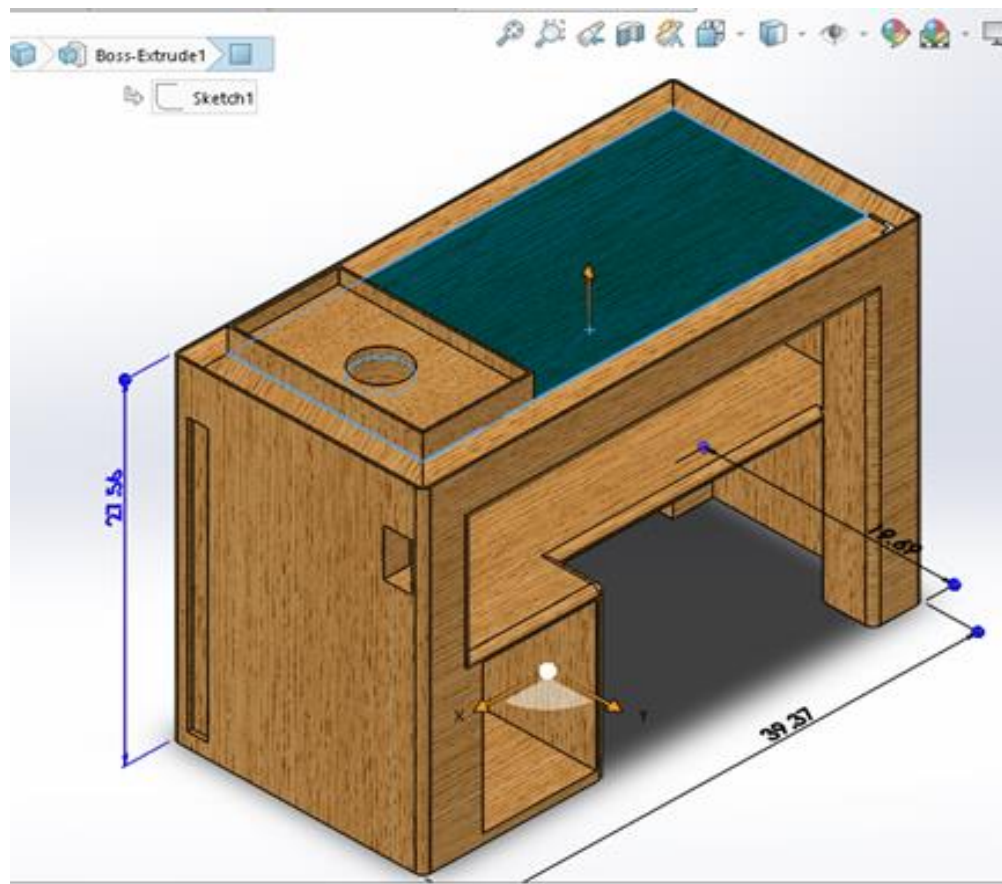


Figura 4.4: Agente 1: Mesa

La construcción de la mesa se pensó para evitar accidentes por diseño, quitando las esquinas de la mesa para evitar accidentes, diseñándola a una altura adecuada para evitar dolores de espalda, agregándole luces a los lados para evitar tropezos, poniéndole

ruedas de seguridad para que la persona de la tercera edad no tenga que cargar con el mueble al moverlo y tampoco corra el riesgo de resbalar junto con la mesa; también se le agrego un pequeño desnivel a al diseño por si el usuario llegase a derramar líquidos, estos no terminarían completamente encima de él. El cableado de la mesa se pensó para ser interno y no visible para el usuario, esto se hizo para mejorar la estética del agente. Los mecanismos que se pensaron agregar fueron por comodidad, se diseñó un cajón en la parte superior de la mesa para que el usuario pueda colocar algunas de sus pertenencias, también se diseñó una slider para que la mesa sea cómoda a la hora de comer y se le diseñaron perforaciones para agregar tomacorrientes a los lados para que la persona de la tercera edad pueda conectar su celular o dispositivos cercanos a él. Por comodidad también se le diseñó un espacio para un sensor de temperatura en la orilla de la mesa, la orilla cerca del usuario para que este identifique cuando la temperatura cerca del usuario sea mayor a los 35 grados Celsius y el agente activará un ventilador, si la temperatura el menos a los 35 grados el ventilador se apagará. La mesa fue pulida, pintada y barnizada para el agrado del usuario, En la figura 4.5 se muestra el agente 1, la parte del dispensador.

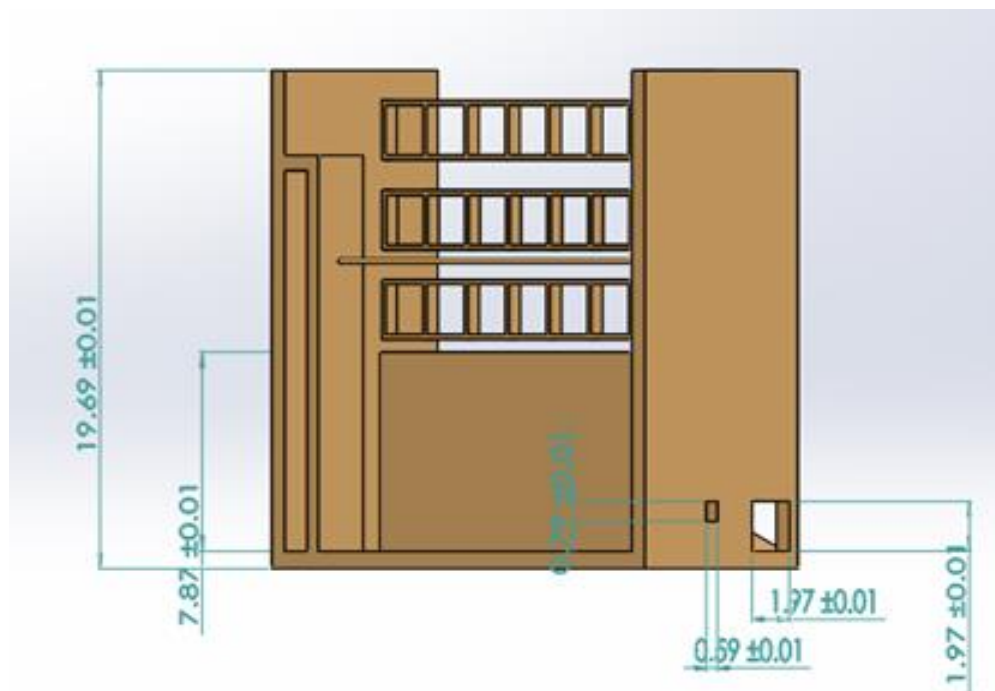
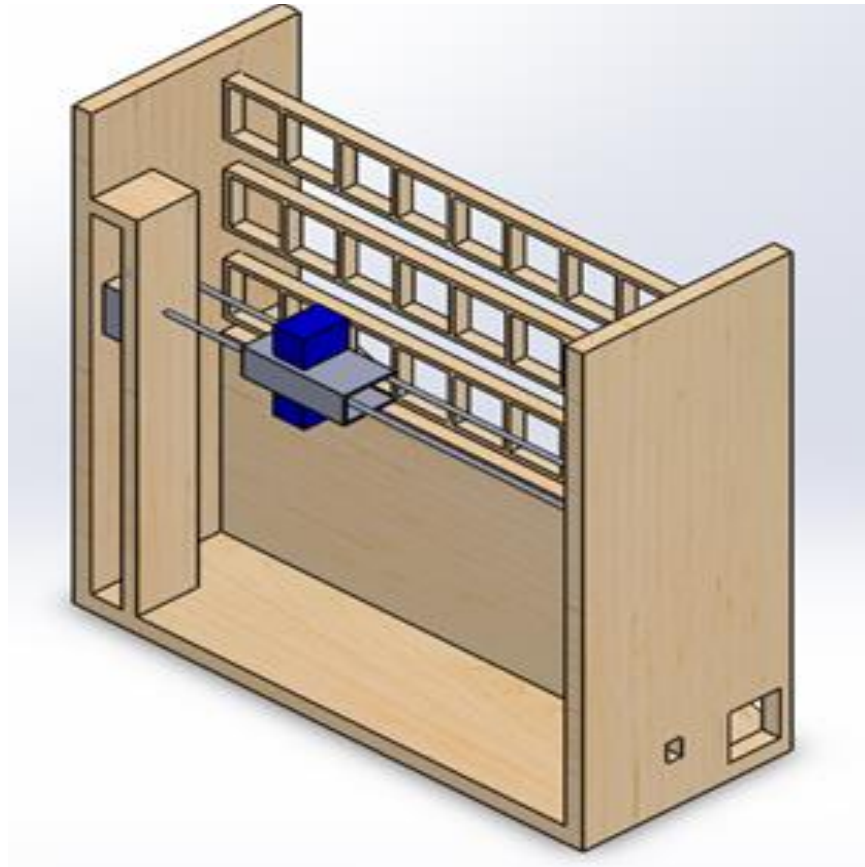
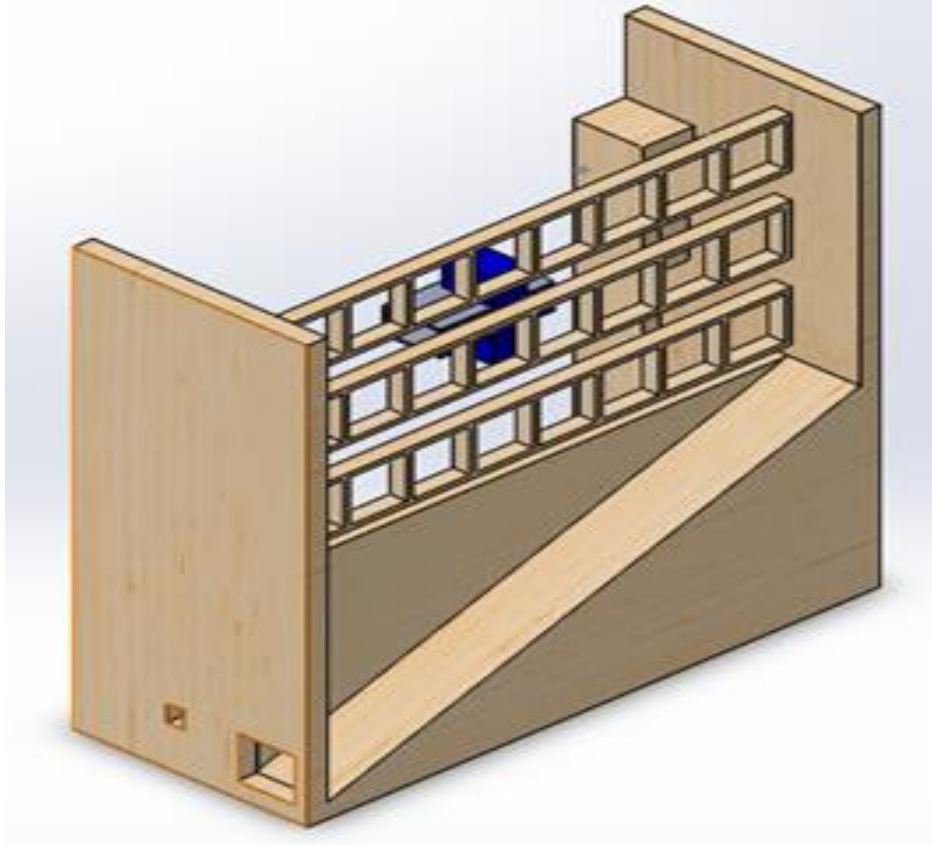


Figura 4.5: Medidas del agente 1: Dispensador

El diseño del dispensador también se realizó en SolidWorks, la creación del mismo se llevó a cabo para que se le pudieran agregar motores, tornillos sin fin y acoplamientos necesarios para su funcionamiento automatizado. Al finalizar su diseño, se le agregó un apartado para la placa electrónica (conexiones a la Raspberry Pi) y se re programaran los motores, eso se realizará con el fin de ajustar las velocidades de los motores para acoplarse con las dimensiones del diseño creado en SolidWorks. una vez diseñado el dispensador con la mesa, se hicieron correcciones finales a los diseños para la parte técnica de los motores; esto se hizo para que los dos modelos pudieran acoplarse adecuadamente, en las figuras 4.6 y 4.7 se muestra el diseño del dispensador.



*Figura 4.6: Diseño delantero del dispensador*



*Figura 4.7: Diseño trasero del dispensador*

#### **4.5.2. Agente 2: Isla auxiliar**

Para realizar el diseño pensado para la isla auxiliar, lo primero que se investigó fueron los dispositivos y componentes a utilizar para el sistema. En este caso se optó por utilizar un ESPs ya que, es un dispositivo esencial para empezar un prototipo inalámbrico. El diseño de la isla se desarrolló en Proteus, donde se creó el circuito para la conexión del modelo. El diseño de la isla, se pensó para reemplazar faltas de energía y evitar olvidar recargar el dispositivo, en la figura 4.8 se muestra el circuito en Proteus de la Isla Auxiliar.

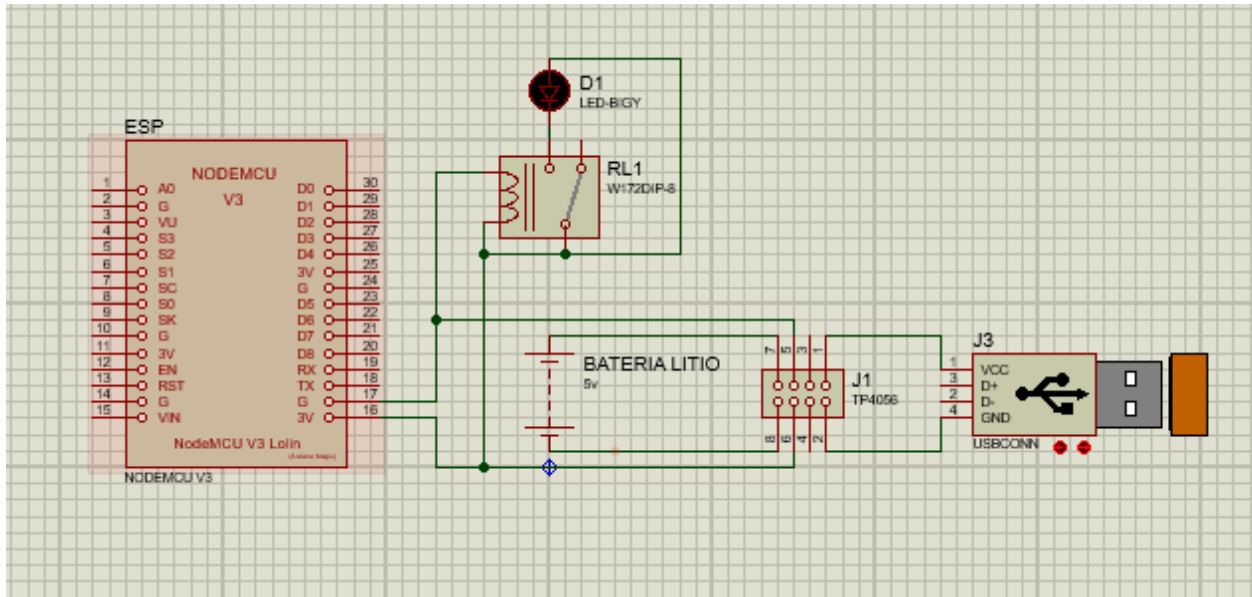


Figura 4.8: Circuito en Proteus de la Isla Auxiliar

Para llevar esto acabo se pensó en agregar un módulo cargador de batería, el cual sirve para recargar batería tipo litio; se eligió la batería litio (la batería anteriormente mencionada), para poder hacer uso del circuito durante varias semanas sin tener la necesidad de recargar, esto se pensó con el objetivo de ayudar a la persona de la tercera edad o paciente en caso de que se le olvide recargar la batería. El cableado de la isla se pensó para ser interno y no visible para el usuario, esto se hizo para mejorar la estética del agente. Por comodidad también se le diseñó un espacio para un sensor de temperatura en la orilla de la isla, para que este identifique cuando la temperatura cerca del usuario sea mayor a los 35 grados Celsius y el agente activará un ventilador, si la temperatura el menos a los 35 grados el ventilador se apagará. La isla fue diseñada como un pequeño cuadro colgante para el agrado del usuario.

### 4.5.3. Agente 3: Isla de precaución

Para realizar el diseño pensado para la isla de precaución, se realizó un proceso muy parecido a la isla auxiliar (en cuanto a la recarga del dispositivo), lo primero que se investigó fueron los dispositivos y componentes a utilizar para el sistema. En este caso se optó por utilizar un ESPs ya que, es un dispositivo esencial para empezar un prototipo inalámbrico. El diseño de la isla se desarrolló en Proteus, donde se creó el circuito para la conexión del modelo. El diseño de la isla, se pensó para reemplazar faltas de energía y evitar olvidar recargar el dispositivo, en la figura 4.9 se muestra el circuito en Proteus de la Isla Auxiliar.

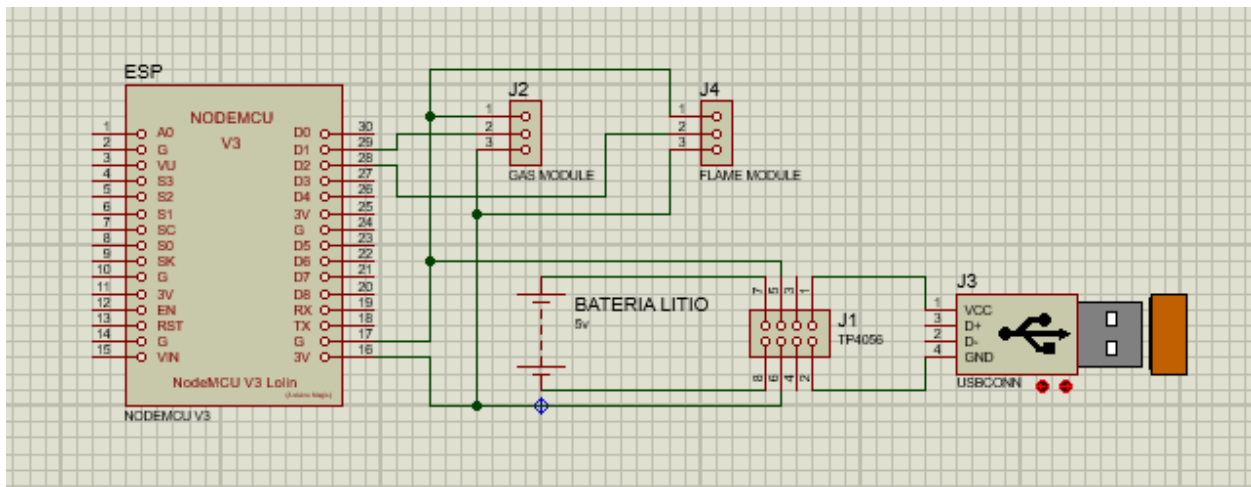


Figura 4.9: Circuito de la Isla de Precaución

Para llevar esto a cabo se pensó en agregar un módulo cargador de batería, el cual sirve para recargar batería tipo litio; se eligió la batería litio (la batería anteriormente mencionada), para poder hacer uso del circuito durante varias semanas sin tener la necesidad de recargar, esto se pensó con el objetivo de ayudar a la persona de la tercera edad o paciente en caso de que se le olvide recargar la batería. El cableado de la isla se pensó para ser interno y no visible para el usuario, esto se hizo para mejorar la estética del agente. Dentro de esta isla no se pensó en agregar mecanismos de comodidad, sin

embargo, se diseñó un espacio para agregar un módulo flama en la parte superior de la isla para que el usuario pueda colocar dicho módulo en la cocina y este le avise se hay algún tipo de incendio o fuego dentro de ella; también se le diseñó otro espacio para agregar un sensor de gas en la orilla de la isla, para que este identifique cuando exista una fuga de gas dentro de la cocina. Si alguno de los dos sensores integrados dentro de este dispositivo llegarán a detectar una flama, incendio o fuga de gas, el agente activará una alarma, las alarmas de cada uno de los sensores se activan donde el agente 1 (el agente disfrazado de mesa) esté ubicado; es importante mencionar que las alarmas para cada censado emitirá una frecuencia diferente para que puedan ser distinguidas, esto se realizó pensando en la seguridad del usuario. Por último, la isla fue diseñada como un pequeño cuadro colgante para el agrado del usuario.

#### **4.6. Tecnología inalámbrica**

La comunicación inalámbrica entre las islas se realizó por medio del Internet de las cosas (Internet Of Things), para lo cual se realizaron varias pruebas por medio del IP de la Raspberry y los ESP. Primero se comunicó el Broker (Raspberry Pi) con una PC, luego un suscriptor y un publicado (las islas) con la PC y al final se hizo la conexión del Broker Suscriptor-Publicador. Después de realizar las pruebas del BSP inalámbricas, se diseñó un circuito de carga para los ESPs y se diseñaron las placas para Islas. En la figura 4.10 se muestra cómo funciona la comunicación inalámbrica.

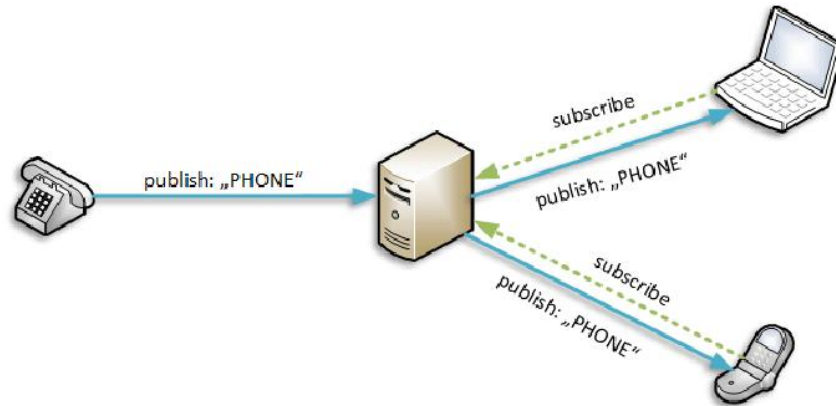


Figura 4.10: Comunicación inalámbrica

#### 4.6.1. Interfaz de usuario y presentación de eventos

La interfaz de usuario tiene dos funciones: (1) convertir el objetivo y el entorno del usuario y el contexto humano en un conjunto de creencias, deseos e intenciones para cada agente; y (2) seleccionar un protocolo de comunicación, un mecanismo de colaboración y un esquema de gestión de recursos basado en la política regulatoria proporcionada por el usuario. Estas entradas se convertirán en selecciones de modalidades de sensores, algoritmos/protocolos, plantillas de contexto/comportamiento y una política de gestión de recursos. Hay dos tipos de eventos: (1) externo y (2) interno. Los eventos externos representan diferentes estados del medio ambiente y el comportamiento de los sujetos humanos. Los eventos internos representan diferentes estados de comportamiento del agente. Estos eventos se enviarán a los agentes operativos y, en cada agente, los eventos desencadenan comportamientos en determinadas situaciones.



# Capítulo 5. Implementación del sistema

## 5.1. Arquitectura general del sistema

La implementación de la parte física de este proyecto se realizó pensando en la estructura de un multiagente dividido en tres agentes, el primer agente es la mesa diseñada en el capítulo 4 de este documento. Este agente se puede visualizar en la figura 5.1 como el “Agente 1: Mesa”, el cual, cuenta con el dispensador ubicado encima de él; dentro de este mismo dispensador se conectaron los siguientes dispositivos: el RTC (Real-Time Clock) que mide el tiempo de la Raspberry; el buzzer que notifica las alarmas correspondientes, el cual incluye tres alarmas diferentes; los motores que reaccionan al RTC y dispensan las pastillas; el sensor DHT que mide la temperatura alrededor del agente (donde se supone que el paciente o usuario estará descansando); y la Raspberry Pi 3, donde se registrará la base de datos y la cual, funcionara como el Router o PC del proyecto.



Figura 5.1: Diagrama de flujo del multiagente en su forma física

El segundo agente es una isla, la cual se visualiza en la figura 5.1 como “Agente 2: Isla Auxiliar” y el tercer agente también es una isla visualizada como “Agente 3: Isla de Precaución”. El segundo agente fue implementado como un circuito que contiene una ESP comunicada inalámbricamente con la Raspberry Pi, la comunicación fue programada para activar un módulo relevador capaz de encender un ventilador que crea un control de lógica difusa; este control se programó para poder controlar la temperatura alrededor del primer agente. El tercer agente fue implementado como un circuito que también contiene una ESP comunicada inalámbricamente con la Raspberry Pi, la comunicación fue programada para activar o desactivar un módulo flama y un módulo de gas, capaz de encenderse cuando se detecta alguna flama, incendio o fuga de gas dentro de la cocina; este control se programó para poder monitorear la seguridad de la persona de la tercera edad o paciente que contengo el multiagente.

## **5.2. Secuencia del programa en Python**

La implementación de la parte programada se realizó en Python, en este caso se optó por utilizar una Raspberry Pi B ya que, es un dispositivo esencial para empezar un prototipo. Una vez instalado el sistema operativo Raspbian, se activó el i2c para la comunicación con el RTC y se programa el sistema operativo para obedecer el RTC sin wifi dentro de la terminal. Para poder llegar esta acabó, se asignaron los GPIOs de la Raspberry especiales para el puerto i2c, así como se asignan los puertos para los sensores de gas y temperatura; estos sensores, fueron programados dentro del mismo código como sensores binarios en el caso de los sensores de gas y flama y como sensores analógicos en el caso de los DHT (sensores de temperatura). Se realizaron pruebas de funcionamiento para los sensores tanto binarios como analíticos y después se programaron los leds (que serían reemplazados por los motores), el Buzzer y los tiempos para los motores. Los tiempos se programaron con delays que respondan al RTC. Los delays están programados por hora, minuto y segundo utilizando la librería sleep, las pruebas se realizaron por medio y leds entre 4 a 5 volts con sus respectivas resistencias. Una vez terminada la parte conectada directamente a la Raspberry, se

programaron las salidas con actuadores (relevadores) para el ventilador; se realizaron pruebas de histéresis con la etapa de potencia del ventilador. en la figura 5.2 se muestra el diagrama de flujo del multiagente en Python.

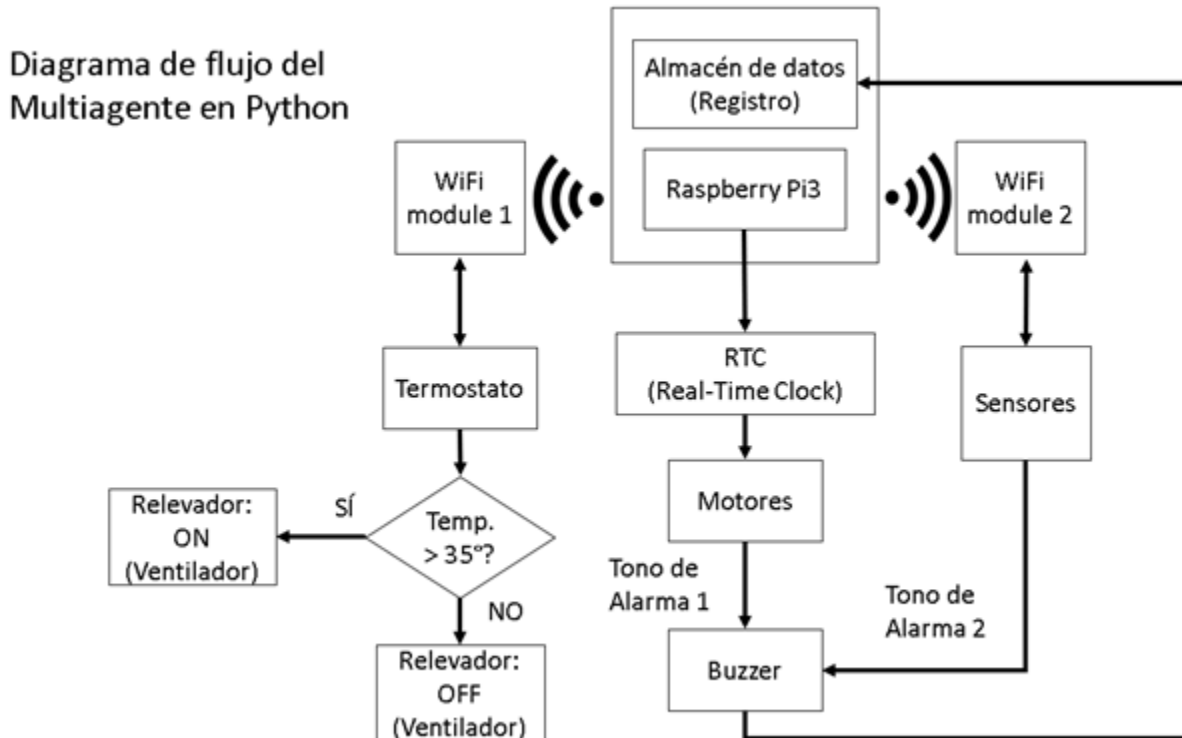


Figura 5.2: Diagrama de flujo del multiagente en Python

De forma alámbrica se conectó el ESP a la Raspberry pi y se conmutamos todos los actuadores a la ESP alambriicamente, para poder programar los sensores a través del ESP y estos se comunicarán con el Buzzer y los LEDs para realizar las notificaciones. Una vez que la comunicación fue grata, se procedió a programar la terminal como inalámbrica para la ESP; y se conectó otro ESP inalámbricamente a la Raspberry pi. Los sensores se dividieron entre los dos dispositivos inalámbricos (islas) y se realizaron pruebas de salida de actuadores y relevador inalámbricamente; también se realizaron

pruebas de histéresis por etapa de potencia inalámbricamente y se programaron las notificaciones esperadas de los sensores al Buzzer.

### **5.3. Implementación del Agente 1**

Tomando en cuenta el diseño de la mesa (el cual se mencionó a detalle en el capítulo 4 de este documento, sección e. Diseño de los Agentes, subsección i. Agente 1: Mesa y Dispensador). La construcción de la mesa se pensó para evitar accidentes por diseño, quitando las esquinas de la mesa para evitar accidentes, diseñándola a una altura adecuada para evitar dolores de espalda, agregándole luces a los lados para evitar tropiezos, poniéndole ruedas de seguridad para que la persona de la tercera edad no tenga que cargar con el mueble al moverlo y tampoco corra el riesgo de resbalar junto con la mesa; también se le agrego un pequeño desnivel a al diseño por si el usuario llegase a derramar líquidos, estos no terminarían completamente encima de él.

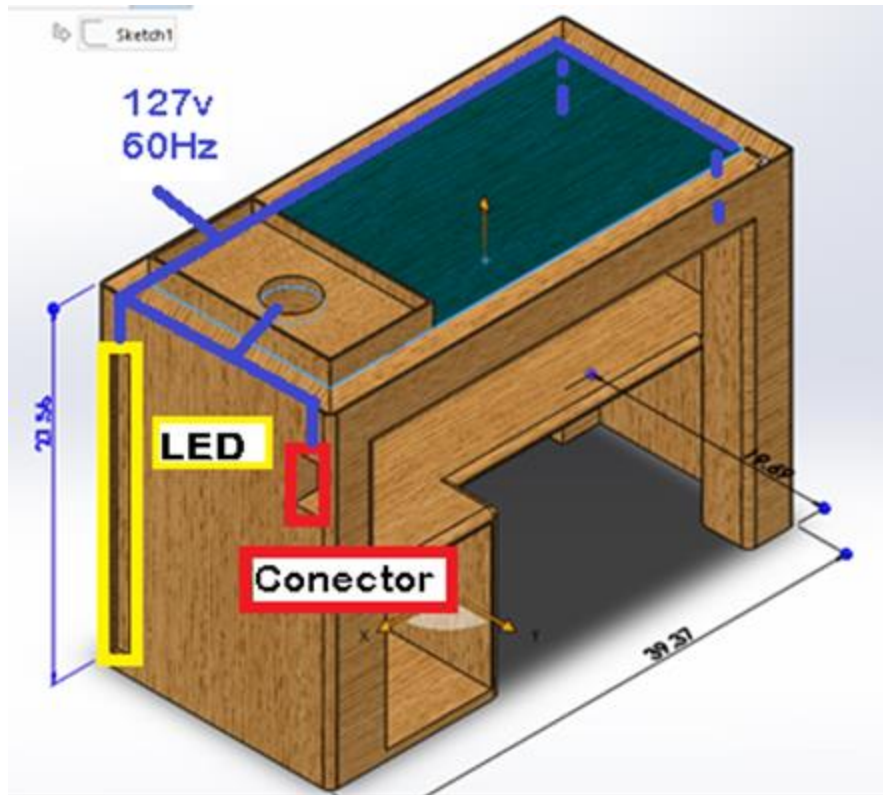


Figura 5.3: Conexiones internas del Agente 1 (la mesa)

El cableado de la mesa se pensó para ser interno y no visible para el usuario. En la figura 5.3 se puede visualizar como se realizaron las conexiones internas del primer agente, esto se hizo para mejorar la estética del agente. En color amarillo se puede ver la cinta de LEDs que se le agregó al agente en la perforación rectangular, en color rojo se pueden visualizar los conectores que se añadieron a la mesa (los conectores se agregaron de cada lado de la mesa) y, por último, en color azul se pueden ver los cables que fueron conectados internamente. Los cables conectan los LEDs y los conectores a 127 volts con una frecuencia de 60Hz, es importante mencionar que existe una última conexión de cable que sale del agente para poder conectar el dispensador.



*Figura 5.4: Agente 1 (mesa), construcción en madera*

En la figura 5.4 se muestra la construcción de madera del agente 1, la parte de la mesa. Los mecanismos agregados fueron por comodidad, se agregó un cajón en la parte superior de la mesa para que el usuario pueda colocar algunas de sus pertenencias, se agrega una slider para que la mesa sea cómoda a la hora de comer y se les agregaron tomacorrientes a los lados para que la persona de la tercera edad pueda conectar su celular o dispositivos cercanos a él. Por comodidad también se le agregó un sensor de temperatura en la orilla de la mesa, la orilla cerca del usuario para que este identifique cuando la temperatura cerca del usuario sea mayor a los 35 grados Celsius y el agente activará un ventilador, si la temperatura el menos a los 35 grados el ventilador se apagará. La mesa fue pulida, pintada y barnizada para el agrado del usuario.

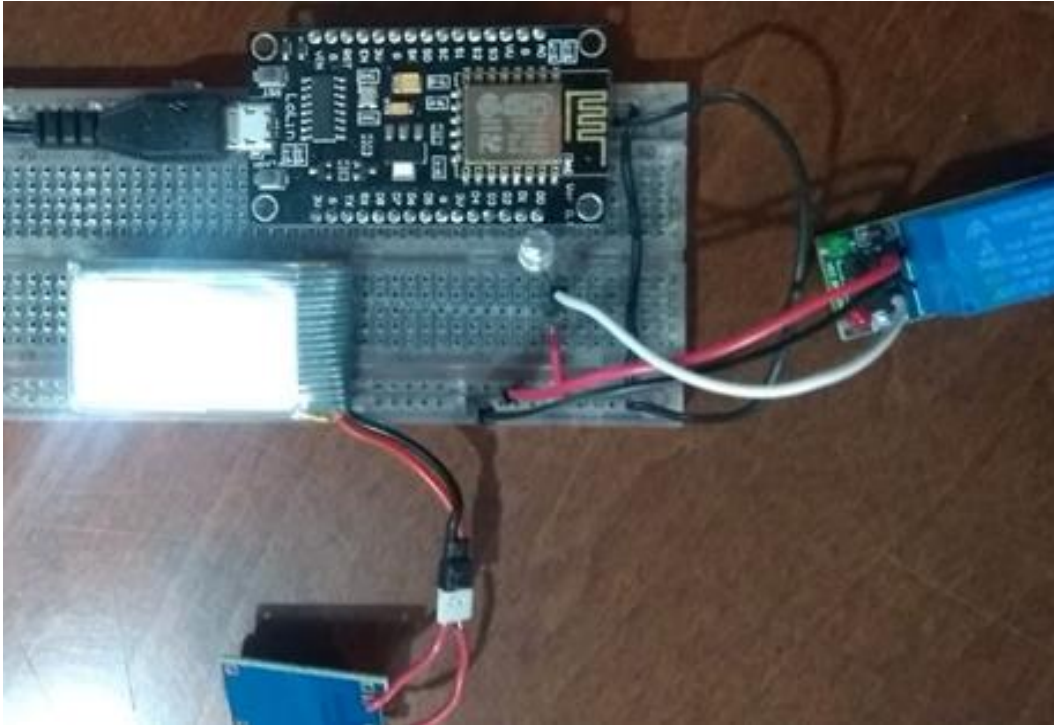


*Figura 5.5: Agente 1 (dispensador), construcción en madera*

En la figura 5.5 se muestra la construcción de madera del agente 1, la parte del dispensador. El diseño del dispensador también se realizó en SolidWorks (el cual se mencionó a detalle en el capítulo 4 de este documento, sección e. Diseño de los Agentes, subsección i. Agente 1: Mesa y Dispensador), la construcción del mismo se llevó a cabo con los motores, tornillos sin fin y acoplamientos necesarios para su funcionamiento automatizado. Al finalizar su construcción, se diseñó la placa para la parte electrónica (conexiones a la Raspberry Pi) y se reprogramaron los motores, ajustando las velocidades de los motores para acoplarse con las dimensiones del diseño creado en SolidWorks. una vez ensamblado el dispensador con la mesa, se hicieron correcciones finales a los mecanismos de la parte técnica de los motores; esto se hizo para terminar la etapa de potencia adecuadamente.

## 5.4. Implementación del Agente 2

Para realizar de forma física el diseño pensado para la isla auxiliar, lo primero que se investigó fueron los ESPs ya que, es un dispositivo esencial para empezar un prototipo inalámbrico, la conexión de la isla se desarrolló en Isis (donde se creó el circuito para la baquelita del modelo).



*Figura 5.6: Isla Auxiliar en Protoboard*

En la figura 5.6 se muestra la conexión en Protoboard de la isla auxiliar. Para llevar esto a cabo se le tuvo que agregar un módulo cargador de batería, el cual sirve para recargar batería tipo litio; se le agregó la batería anteriormente mencionada para poder hacer uso del circuito durante varias semanas sin tener la necesidad de recargar, esto se realizó con el objetivo de ayudar a la persona de la tercera edad o paciente en caso de que se le olvide recargar la batería; también se le conectó un cargador a 5 voltios para que la batería pueda ser recargada. El cableado de la isla se pensó para ser interno y no visible para el usuario., esto se hizo para mejorar la estética del agente. Los mecanismos agregados fueron por comodidad, se agregó un módulo relevador en la parte superior de



la isla para que el usuario pueda hacer uso de él en tiempo de calor. Por comodidad también se le agregó un sensor de temperatura en la orilla de la isla, para que este identifique cuando la temperatura cerca del usuario sea mayor a los 35 grados Celsius y el agente activará un ventilador, si la temperatura es menor a los 35 grados el ventilador se apagará. La isla fue diseñada como un pequeño cuadro colgante para el agrado del usuario.

### 5.5. Implementación del Agente 3

Para realizar de forma física el diseño pensado para la isla de precaución, lo primero que se investigó fueron los ESPs ya que, es un dispositivo esencial para empezar un prototipo inalámbrico, la conexión de la isla se desarrolló en Isis (donde se creó el circuito para la baquelita del modelo). En la figura 5.7 se muestra la conexión en Protoboard de la isla de precaución.



Figura 5.7: Isla de Precaución en Protoboard

Para llevar esto a cabo se le tuvo que agregar un módulo cargador de batería, el cual sirve para recargar batería tipo litio; se le agregó la batería anteriormente mencionada para poder hacer uso del circuito durante varias semanas sin tener la necesidad de recargar, esto se realizó con el objetivo de ayudar a la persona de la tercera edad o paciente en caso de que se le olvide recargar la batería; también se le conectó un cargador a 5 voltios para que la batería pueda ser recargada. El cableado de la isla se pensó para ser interno y no visible para el usuario., esto se hizo para mejorar la estética del agente. Dentro de esta isla no se agregaron mecanismos de comodidad, sin embargo, se agregó un módulo flama en la parte superior de la isla para que el usuario pueda colocar dicho módulo en la cocina y este le avise se hay algún tipo de incendio o fuego dentro de ella; también se le agregó un sensor de gas en la orilla de la isla, para que este identifique cuando exista una fuga de gas dentro de la cocina. Si alguno de los dos sensores integrados dentro de este dispositivo llegarán a detectar una flama, incendio o fuga de gas, el agente activará una alarma, las alarmas de cada uno de los sensores se activan donde el agente 1 (el agente disfrazado de mesa) esté ubicado; es importante mencionar que las alarmas para cada sensor emiten una frecuencia diferente para que puedan ser distinguidas, esto se realizó pensando en la seguridad del usuario. Por último, la isla fue diseñada como un pequeño cuadro colgante para el agrado del usuario.

## **5.6. Implementación de la red inalámbrica**

Durante la implementación de la comunicación de la red inalámbrica, lo que se realizó fue la conexión de los 3 agentes. En las secciones Arquitectura general del sistema y Secuencia del programa en Python de este capítulo se muestra de forma gráfica cómo se conectan los agentes físicamente y se muestra cómo es su secuencia de programación; en esta sección se logrará visualizar cómo avanza la comunicación de los agentes mirándolo desde la perspectiva del internet de las cosas (IoT) que se diseñó para este proyecto.

## Diagrama de flujo de la comunicación inalámbrica del Multiagente

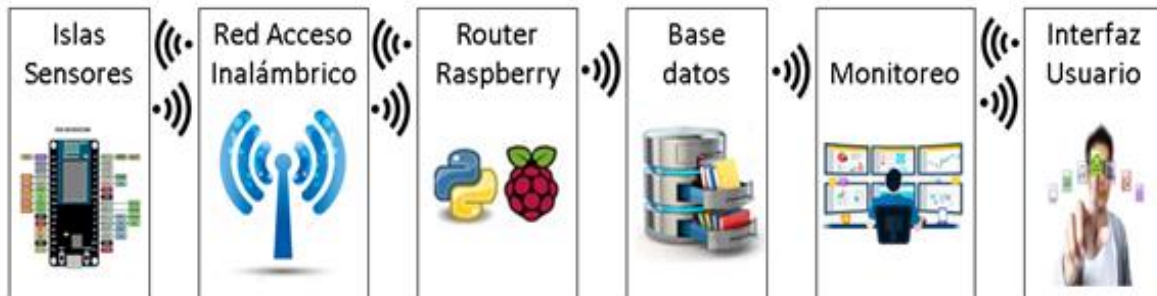


Figura 5.8: Diagrama de flujo de la comunicación inalámbrica del multiagente

Como se muestra en la figura 5.8, el flujo de comunicación inalámbrica del multiagente empieza en las islas, haciendo uso de los sensores y actuadores que están funcionando a través de las ESPs. Los Node o ESPs pueden enviar y recibir datos a través de Wifi ya que, estos dispositivos cuentan con módulos de comunicación Wifi (el ESP que está dentro del Node). Así es como la información para la Raspberry Pi 3 como lectura y escritura dentro del router, aceptando y mandando señales a las ESP. Como se mencionó anteriormente durante este capítulo del documento, el buzzer reacciona a ciertos sensores y es un actuador conectado a la Raspberry Pi; cada vez que este actuador es ejecutado se almacena en la base de datos, es importante notar que en este caso ya no se está realizando una comunicación de emisor y receptor, sino que, la Raspberry Pi manda la información a la base de datos. Esta información es la misma que es monitoreada y gracias a esto el usuario puede manipular la interfaz ya sea mandando o recibiendo a través de los sensores.

## **Capítulo 6. Experimentos y Resultados**

### **6.1. Comportamientos de los algoritmos**

Para esta parte del documento se desarrollaron pseudocódigos que demuestran el funcionamiento de cada uno de los algoritmos programados, esto se cumplió con el fin de demostrar los algoritmos con los cuales se realizó el experimento. Debido a la pandemia del 2020-2021 causada por el COVID-19 no se pudieron realizar experimentos de forma física, pero se pueden expresar los resultados gracias al funcionamiento de los algoritmos.

#### **6.1.1. Etapa de prueba**

Dentro de la etapa de prueba se realizaron los pseudocódigos adecuados para que el lector pueda visualizar un poco mejor la explicación de los algoritmos. En esta subsección se especificarán dos de los pseudocódigos, el primero es una conexión de prueba entre la computadora utilizada y la Raspberry Pi y el segundo es una conexión con respuesta en texto de la Raspberry Pi y la computadora utilizada.

#### **PC a Raspberry Pi**

La primera prueba realizada es una conexión entre la computadora utilizada y la Raspberry Pi.

El pseudocódigo muestra cómo se realizó paso a paso esta comunicación, empezamos con una lectura la cual llamamos suscripción, la suscripción se realizará de la PC a la Raspberry Pi; de esta forma seremos capaces de subscribirnos a la Raspberry y poder visualizar su conexión desde la PC. Para poder leer al cliente prendemos los dispositivos e identificamos la IP del dispositivo que va a leer la conexión, después, leemos el IP del segundo dispositivo a través del router y conectamos la segunda IP leída al primer dispositivo. Ahora bien, entramos a una condición donde preguntamos si la conexión fue exitosa o no. Si no fue exitosa, se volverá a intentar cada cinco segundo

hasta que lo sea; si la conexión fue exitosa, entonces la creación de una lectura a través de una suscripción fue posible y el while loop se cierra.

## **Inicio**

### **While loop:**

**Leer al cliente**

**Leer el IP del cliente**

**Conectarse al IP**

**If lectura aceptada:**

**Subscribirse**

**Cierre del While loop**

**If rechazada:**

**Intentarlo de nuevo**

**Esperar 5 segundos**

## **Fin**

El propósito de esta prueba fue poder comunicar la Raspberry Pi con la PC ya que es imposible visualizar las pruebas si la conexión se hace directamente con la ESP. De esta forma pudimos programar al mismo tiempo que visualizar y ser conscientes de cada punto que se programó y su ejecución.

## **Raspberry Pi a PC**

La segunda prueba realizada es una conexión entre la Raspberry Pi y la computadora utilizada.

El pseudocódigo muestra cómo se realizó paso a paso esta comunicación, empezamos con una lectura que llamamos publicación, esta publicación se realizará de la Raspberry Pi a la PC; de esta forma seremos capaces de publicar en la PC y visualizar su respuesta en texto a través desde la PC. Para poder leer al cliente prendemos los dispositivos e identificamos la IP del dispositivo que va a leer la conexión, después,

leemos el IP del segundo dispositivo a través del router y conectamos la segunda IP leía al primer dispositivo. Ahora bien, entramos a una condición donde preguntamos si la conexión fue exitosa o no. Si no fue exitosa, se volverá a intentar cada cinco segundo hasta que lo sea; si la conexión fue exitosa, entonces la creación de una lectura a través de una suscripción fue posible y el while loop se cierra y lo repetimos tres veces para garantizar su recepción.

## **Inicio**

### **While loop:**

**Leer al cliente**

**Leer el IP del cliente**

**Conectarse al IP**

**If lectura aceptada:**

**Subscribirse**

**Cierre del While loop**

**For repetido 3 veces:**

**Desconectar al cliente**

**If rechazada:**

**Intentarlo de nuevo**

**Esperar 5 segundos**

## **Fin**

El propósito de esta prueba fue poder comunicar la PC con la Raspberry Pi ya que es imposible visualizar las pruebas si la conexión se hace directamente con la ESP. De esta forma pudimos programar al mismo tiempo que visualizar y ser conscientes de cada punto que se programó y su ejecución.

### **6.1.2. Comunicación**

Para llevar a cabo la comunicación entre los agentes se tuvieron que especializar los algoritmos de la etapa de prueba mostrados en la subsección pasada, para la elaboración de esta subsección se realizaron los pseudocódigos para que el lector pueda visualizar mejor la explicación de las conexiones inalámbricas entre los agentes. En esta parte del documento se especificarán dos de los pseudocódigos, el primero es una conexión entre la Raspberry Pi (el Broker) utilizada y la ESP y el segundo es una conexión con respuesta en texto de la ESP y la Raspberry Pi (Broker) utilizada.

#### **Broker a ESP**

Las siguientes pruebas realizadas para la ejecución del proyecto fueron Broker a Subscriptor y Publicador. El siguiente pseudocódigo muestra cómo se realizó paso a paso la primera comunicación, empezamos con una lectura que llamamos bróker-suscripción, la cual, se realizará de la Raspberry Pi a la ESP; de esta forma seremos capaces de suscribir en la Raspberry Pi y visualizar su respuesta en texto a través desde la ESP. Para poder leer al cliente prendemos los dispositivos e identificamos la IP del dispositivo que va a leer la conexión, después, leemos el IP del segundo dispositivo a través del router y conectamos la segunda IP leía al primer dispositivo. Ahora bien, entramos a una condición donde preguntamos si la conexión fue exitosa o no. Si no fue exitosa, se volverá a intentar cada cinco segundo hasta que lo sea; si la conexión fue exitosa, entonces la creación de una lectura a través de una suscripción fue posible y el while loop se cierra.

#### **Inicio**

##### **While loop:**

**Conectar al cliente**

**Identificar el tipo de cliente**

**If el cliente es aceptado:**

**Suscribirse**

**Leer el usuario y contraseña del Wifi**

**Conectarse al IP**

**Cierre del While loop**

**Else:**

**Reintentar en 5 segundos**

**Fin**

El propósito de esta prueba fue poder comunicar la ESP con la Raspberry Pi y de esta forma pudimos programar al mismo tiempo que visualizar y ser conscientes de cada punto que se programó y su ejecución.

### **ESP a Broker**

El siguiente pseudocódigo muestra cómo se realizó paso a paso la primera comunicación, empezamos con una lectura que llamamos bróker-publicador, la cual, se realizará de la ESP a la Raspberry Pi; de esta forma seremos capaces de publicar en la ESP y visualizar su respuesta en texto a través desde la Raspberry Pi. Para poder leer al cliente prendemos los dispositivos e identificamos la IP del dispositivo que va a leer la conexión, después, leemos el IP del segundo dispositivo a través del router y conectamos la segunda IP leía al primer dispositivo. Ahora bien, entramos a una condición donde preguntamos si la conexión fue exitosa o no. Si no fue exitosa, se volverá a intentar cada cinco segundos hasta que lo sea; si la conexión fue exitosa, entonces la creación de una lectura a través de una suscripción fue posible y el while loop se cierra y lo repetimos tres veces para garantizar su recepción.

**Inicio**

**While loop:**

**Conectar al cliente**

**Identificar el tipo de cliente**



**If el cliente es aceptado:**  
    **Subscribirse**  
    **Leer el usuario y contraseña del Wifi**  
    **Conectarse al IP**  
    **Cierre del While loop**  
**For repetido 3 veces:**  
    **Desconectar al cliente**  
  
**Else:**  
    **Reintentar en 5 segundos**

**Fin**

El propósito de esta prueba fue poder comunicar la ESP con la Raspberry Pi y de esta forma pudimos programar al mismo tiempo que visualizar y ser conscientes de cada punto que se programó y su ejecución.

## **6.2. Resultados**

Al igual que en la sección del comportamiento de los algoritmos, esta parte del documento se desarrollará mostrando el funcionamiento de cada uno de los algoritmos programados. En este caso para mostrar los resultados, estaremos mostrando el algoritmo funcionando de forma física, es decir, mostrar los agentes funcionando. Esto se cumplió con el fin de demostrar los algoritmos con los cuales se realizaron los experimentos; debido a la pandemia del 2020-2021 causada por el COVID-19 no se pudieron realizar experimentos de forma física, pero se pueden expresar los resultados con imágenes del multiagente final y un video de los agentes funcionando.

## 6.2.1. Interacción en el mundo real

### Agente 1

En la figura 6.1 se puede apreciar el funcionamiento final del Agente 1, en los cuadros que parecen escaleras se colocan las pastillas; cada tipo de pastilla se coloca en cada escalera, este primer prototipo solo tiene espacio para tres diferentes tipos de pastilla.

El funcionamiento de los motores es simple, cuando el tiempo es adecuado (cuando es hora de que el paciente tome cierto medicamento) sonará el buzzer y el motor a paso dará los pasos indicados para poder colocarse en la línea adecuada para quedar paralelo a la pastilla correspondiente. Después de asegurar su lugar, es el turno del servomotor. Cuando el motor a pasos este paralelo, el servo dará un giro de 180 grados y empujará la pastilla enfrente de él; la pastilla caerá del otro lado y llegará a manos del paciente.



Figura 6.1: Agente 1

Dentro de este agente también se colocó la Raspberry Pi (la cual contiene la base de datos y el programa), el sensor de temperatura (el cual activa al agente auxiliar) y el buzzer (el cual le indica al paciente cuando es hora de tomar sus medicamentos).

La base de datos que se crea dentro de la Raspberry Pi es uno de los puntos más importantes dentro de la programación de la Raspberry Pi ya que, esta base de datos le servirá tanto al paciente para recordar si tomo sus medicamentos adecuadamente y, si se le llega a olvidar tragar algún medicamento. Los datos también serán muy importantes para el doctor que atiende al paciente ya que, de esta manera el doctor podrá saber si algún medicamento le está haciendo daño al paciente o si el paciente no ha estado respetando los horarios de ingesta y esto le esté causando algún problema físico o mental.

### **Agentes 2 y 3**

En la figura 6.2 se puede visualizar el agente 2, la isla auxiliar. Esta isla nos ayuda a controlar digitalmente mediante un relevador un aparato I/O, en este caso elegimos un ventilador que funciona con un controlador difuso. La isla tiene como prioridad encender el ventilador cuando la temperatura cerca del paciente suba a 35 grados centígrados, cuando esto suceda, por medio de internet de las cosas el dispositivo se activará dondequiera que se encuentre la isla auxiliar. El cálculo de vida de su batería fue de aproximadamente dos meses antes de volver a recargar.



*Figura 6.2: Agente 2*

En la figura 6.3 se puede visualizar el agente 3, la isla de precaución. Este agente fue programado para cuidar cualquier habitación dentro de la casa (preferiblemente la cocina). El agente tiene la habilidad de alertar al agente 1 por medio de lógica difusa, esto pasa cuando los sensores tanto de gas como de fuego o flama son activados (cuando los sensores detentan impurezas en el aire). El cálculo de vida de su batería fue de aproximadamente dos meses antes de volver a recargar.



*Figura 6.3: Agente 3*

### **6.2.2. Video del Multi-Agente**

En esta parte de la sección de resultados, se decidió elaborar un video del multiagente que interactuando de forma física en su ambiente. El video fue grabado dentro de un hogar y fue utilizado únicamente por una persona, la grabación se llevó a cabo para tomar las medidas sanitarias adecuadas durante la pandemia del COVID-19 2020-2021. A continuación, les mostramos una imagen del video y el link para su visualización:

## **Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos futuros**

Tomando en cuenta la hipótesis mencionada en el Capítulo 1: “Es posible que la aplicación de lógica difusa al monitoreo de medicamentos y horarios de consumo permita el diseño y construcción de un sistema multiagente como asistente para la medicación de pacientes” llegamos a una conclusión positiva. Pudimos diseñar un sistema multiagente pensando en cómo monitorear la ingesta de medicamentos utilizando lógica difusa, se trata de un asistente que permite administrar los horarios de los pacientes adecuadamente y monitorear la ingesta de los mismos de una forma práctica.

### **7.1. Aportes a la investigación**

Esperamos que el sistema realmente tenga un impacto social dentro de nuestra sociedad y que ayude a la gente a darse cuenta de que nuestros seres queridos dependen de un cuidado especial y si no podemos dárselo, tenemos la obligación de buscar la manera de hacerlo, para que puedan ser atendidos como se merecen. La lección del proyecto está diseñada para dar a las personas la oportunidad de cuidarse a sí mismas en el futuro y darles la opción de evitar tener que depender de sus años de edad avanzada; y para que la gente empiece a cuidar socialmente y la sociedad genere ingenieros que vean a las personas vulnerables.

#### **7.1.1. Implicación práctica**

- Disminuiría un poco la necesidad de movilidad
- Ayudaría con el registro de los medicamentos
- Recordaría el consumo necesario de los medicamentos y sus horarios
- Contactores eléctricos accesibles y fáciles de usar
- Luces accesibles
- Bandeja deslizante, portadora de vasos.

### **7.1.2. Relevancia social**

- Ayuda a que la sociedad se dé cuenta de que nuestros seres queridos dependen de cuidados especiales y si no podemos dárselos, tenemos la obligación de buscar la forma en la cual, ellos puedan ser atendidos como lo merecen.
- Les da a las personas la oportunidad de ver por ellos mismos en un futuro y tener opciones para no tener que ser dependientes en su vejez.
- Creó un impacto social, para que las personas empiecen a preocuparse socialmente y la sociedad genere ingenieros que vean por las personas vulnerables.

### **7.1.3. Utilidad metodológica**

Recopilación de datos médicos, recopilar los horarios en los que los enfermos toman sus medicamentos y ayudar a su memoria.

## **7.2. Limitaciones del trabajo realizado**

La comunicación dentro de la casa es limitada, si el agente fuera a salir del hogar ya no respondería; esto se debe a que el Raspberry Pi (el router) es el que crea las comunicaciones y está limitado únicamente a su IP para evitar ser manipulado de forma externa.

La isla auxiliar tiene como objetivo crear un control de lógica difusa que pueda manipular un dispositivo ON/OFF, debido a esto los dispositivos conectados al relevador pueden ser varias; puede ver conectada una lámpara, una licuadora, etc. (cualquier dispositivo electrónico con un control I/O). A parte de que solo pueden ser usados estos tipos de dispositivos, solo existe un puerto programado actualmente, que se utiliza para una de las entradas o salidas disponibles (señales digitales), si fuéramos a crear

múltiples salidas, el número de I/O será necesariamente aumentado y una expansión externa se tendría que instalar.

La persona discapacitada o necesitada (propietario del dispositivo) tendrá que tener un sistema de adquisición de datos y debe tener el conocimiento básico de "cómo encender un dispositivo". Las personas que deseen comprar este sistema no necesariamente deben tener ninguna limitación física, cualquier persona que pueda razonar podría utilizar el dispositivo o sistema para el placer o la comodidad.

### **7.3. Propuesta de mejoras para trabajos futuros**

Actualmente ya se está trabajando en la nueva propuesta para el prototipo mencionado durante este documento, debido a que el prototipo físico ya está en funcionamiento; fue posible identificar modificaciones mecánicas, de dimensiones, y se podría realizar un nuevo diseño del agente que haga mejor uso de sus dimensiones (disminuyendo el tamaño del dispensador móvil y de la dimensión del agente 1. Por otra parte, las islas que ya están comunicadas pueden contar con un sistema de monitoreo más avanzado.

Es posible agregar más entradas I/O como se menciona en las limitaciones para que este sistema pueda crear más agentes y estos puedan manipular más dispositivos dentro del hogar. Estos nuevos puertos podrían manejarse no sólo con lógica difusa, se podrían agregar algoritmos de inteligencia artificial con machine learning. Los algoritmos se utilizarían para poder registrar las entradas y salidas a la casa, monitorear las veces que el paciente entra al baño, o simplemente, monitorear de una forma disimulada al paciente.

Como último punto para mejorar el prototipo, sería de mucha utilidad crear una app móvil que pueda controlar las islas; y registrar las alarmas para que los familiares del paciente puedan estar al pendiente de ellas y que al mismo tiempo el doctor que esté a cargo del paciente pueda revisarlas cuando sea tiempo de consulta.

## Referencias

- Casas, R. (2008). User Modelling in Ambient Intelligence for Elderly and Disabled People. In: Miesenberger K., Klaus J., Zagler W., Karshmer A. (eds) Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol. 5105. Springer, Berlin, Heidelberg
- González, E. (2014). Ambient intelligence based multi-agent system for attending elderly people. 2014 9th Computing Colombian Conference, 9CCC 2014, pages 115–120.
- Casaccia, S., Pietroni, F., Scalise, L., Revel, G. M., Monteríu, A., Prist, M. R., Frontoni, E., and Longhi, S. (2018). Health@Home: Pilot cases and preliminary results: Residential sensor network to promote the active aging of real users. 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, Proceedings.
- Gu, H., Diao, Y., Liu, W., and Zhang, X. (2011). The design of smart home platforms based on Cloud Computing. Proceedings of 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, EMEIT 2011, 8:3919–3922.
- Cabrera, J., Mena, M., Parra, A., and Pinos, E. (2017). Intelligent assistant to control home power network. 2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2016, (Ropec).
- González, V. M., Mateos, F., López, A. M., Enguita, J. M.,
- García, M., and Olaiz, R. (2001). VISIR, a simulation software for domotics installations to improve laboratory training. Proceedings - Frontiers in Education Conference, 3: F4C/6{F4C/11.
- Longo, M., Roscia, M. C., and Zaninelli, D. (2015). Net zero energy of smart house design. 5th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, ICCEP 2015, pages 548–553.
- Verifikasi, D. A. N., Jari, C. A. P., and Sulong, G. B. I. N. (2005). Design and Development of an Automatic Fingerprint Verification System. Pages 1–5.




- Cu PHAM, Y. L. and TAN, Y. (2018). A Platform for Integrating Alexa Voice Service Into.2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW) A.
- Panwar, A., Singh, A., Kumawat, R., Jaidka, S., and Garg, K. (2018). Eyrie smart home automation using Internet of Things. Proceedings of Computing Conference 2017, 2018-January (July):1368–1370.
- Rajalakshmi, A. and Shahnasser, H. (2018). Internet of things using node red and alexa. 2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2017, 2018-January: 1–4.
- Kepuska, V. and Bohouta, G. (2018). Next generation of virtual personal assistants (Microsoft Cortana, Apple Siri, Amazon Alexa and Google Home). 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2018, 2018-January(c):99–103.
- Qela, B.; Mouftah, H.T. (2012). Observe, Learn, and Adapt (OLA)—An Algorithm for Energy Management in Smart Homes Using Wireless Sensors and Artificial Intelligence. IEEE Trans. Smart Grid 2012, 3, 2262–2272.
- Duong, T.V.; Phung, D.Q.; Bui, H.H.; Venkatesh, S. (2005). Efficient Coxian Duration Modelling for Activity Recognition in Smart Environments with the Hidden Semi-Markov Model. In Proceedings of 2005 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, Melbourne, Australia, 5–8 December 2005; pp. 2262–2272.
- Gaddam, A.; Mukhopadhyay, S.C.; Gupta, G.S. (2011). Trial & Experimentation of a Smart Home Monitoring System for Elderly. In Proceedings of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Hangzhou, China, 10–12 May 2011; pp. 1–6.
- Sun, Q.; Wu P.; Wu Y. (2012). Unsupervised Multi-Level Non-Negative Matrix Factorization Model: Binary Data Case. J. Information Security 2012, 3, 245–250.
- Gaddam, A.; Mukhopadhyay, S.C.; Gupta, G.S. (2011). Elder care is based on cognitive sensor networks. IEEE Sens. J. 2011, 11, 574–581.
- Lorente, S. (2004). Key issues regarding domotic applications. Pages 121-122.

- Stefanov, D.H; Bien, Z.; Bang, W.-C. (2004). The smart house for older persons and persons with physical disabilities: Structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2004, 12, 228–250.
- Sun, Q.; Hu F.; Hao Q. (2013). Human Activity Modelling and Situation Perception Based on Fiber-optic Sensing System. *IEEE Trans. Human Mach. Syst.* 2013, in press.
- Zhong, D.; Ji, W.; Liu, Y.; Han, J.; Li, S. (2011). An improved routing algorithm of Zigbee Wireless sensor network for smart home systems. In *Proceedings of 2011 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, Wellington, New Zealand, 6–8 December 2011; pp. 346–350.
- Tsou, Y.-P.; Hsieh, J.-W.; Lin, C.-T.; Chen, C.-Y. (2006). Building a remote supervisory control network system for smart home applications. In *Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC'06*, Taipei, Taiwan, 8–11 October 2006; Volume 3, pp. 1826–1830.
- Zhang, L.; Leung, H.; Chan, K. (2008). Information fusion based smart home control system and its application. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2008, 54, 1157–1165.
- Madden, S.R.; Franklin, M.J.; Hellerstein, J.M.; Hong, W. (2005). TinyDB: An acquisitional query processing system for sensor networks, *ACM Trans. Database Syst.* 2005, 30, 122–173.
- Mueller, R.; Alonso, G.; Kossmann, D. (2007). SwissQM: Next generation data processing in sensor networks. *CIDR 2007*, 7, 1–9.
- Fortino, G.; Guerrieri, A.; O'Hare, G.; Ruzzelli, A. (2012). A flexible building management framework based on wireless sensor and actuator networks. *J. Netw. Comput. Appl.* 2012, 35, 1934–1952.
- Banafa, A. (18 de 06 de 2017). Por qué Internet de las cosas necesita inteligencia artificial. Obtenido de <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/mundo-digital/por-que-internet-de-las-cosas-necesita-inteligencia-artificial/>
- Doutel, F. (21 de 11 de 2012). Con la Raspberry Pi el límite lo pones tú: aprende qué puedes hacer (II). Recuperado el 2021, de <https://www.xataka.com/componentes/con-la-raspberry-pi-el-limite-lo-pones-tu-aprende-que-puedes-hacer-ii>

- Lzeo, K. (06 de 08 de 2020). La nueva era digital de la hospitalidad. Obtenido de <https://www.conexiones365.com/nota/abastur/innovacion-y-tecnologia/era-digital-hospitalidad-lzeo>
- Pinargote, M. (02 de 10 de 2014). Inteligencia artificial. Obtenido de estructura de los agentes inteligentes: <https://sites.google.com/site/mayinteligenciartificial/estructura-de-los-agentes-inteligentes>

## Anexos

### Anexo A. Hoja de datos de la Raspberry Pi 3 modelo B

	<b>Raspberry Pi 3 Model B</b>
<b>Processor Chipset</b>	Broadcom BCM2837 64Bit ARMv7 Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 1250MHz
<b>GPU</b>	Videocore IV
<b>Processor Speed</b>	QUAD Core @1250 MHz
<b>RAM</b>	1GB SDRAM @ 400 MHz
<b>Storage</b>	MicroSD
<b>USB 2.0</b>	4x USB Ports
<b>Power Draw / voltage</b>	2.5A @ 5V
<b>GPIO</b>	40 pin
<b>Ethernet Port</b>	Yes
<b>Wi-Fi</b>	Built in
<b>Bluetooth LE</b>	Built in

Link:

[https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf\\_file=%252Fds%252Fpdf%252FT%252FTechicRP3.pdf](https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%252Fds%252Fpdf%252FT%252FTechicRP3.pdf)

## Anexo B. Hoja de datos del ESP

Pin Category	Name	Description
Power	Micro-USB, 3.3V, GND, Vin	<b>Micro-USB:</b> NodeMCU can be powered through the USB port <b>3.3V:</b> Regulated 3.3V can be supplied to this pin to power the board <b>GND:</b> Ground pins <b>Vin:</b> External Power Supply
Control Pins	<b>EN, RST</b>	The pin and the button resets the microcontroller
Analog Pin	A0	Used to measure analog voltage in the range of 0-3.3V
GPIO Pins	GPIO1 to GPIO16	NodeMCU has 16 general purpose input-output pins on its board
SPI Pins	SD1, CMD, SD0, CLK	NodeMCU has four pins available for SPI communication.
UART Pins	TXD0, RXD0, TXD2, RXD2	NodeMCU has two UART interfaces, UART0 (RXD0 & TXD0) and UART1 (RXD1 & TXD1). UART1 is used to upload the firmware/program.
I2C Pins		NodeMCU has I2C functionality support but due to the internal functionality of these pins, you have to find which pin is I2C.

Link: <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>

**Anexo C.** Hoja de datos de del módulo TP4056

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V <sub>CC</sub>	Input Supply Voltage		● 4.0	5	8.0	V
I <sub>CC</sub>	Input Supply Current	Charge Mode, R <sub>PROG</sub> = 1.2k	●	150	500	μA
		StandbyMode(Charge Terminated)	●	55	100	μA
		Shutdown Mode (R <sub>PROG</sub> Not Connected, V <sub>CC</sub> < V <sub>BAT</sub> , or V <sub>CC</sub> < V <sub>UV</sub> )	●	55	100	μA
V <sub>FLOAT</sub>	Regulated Output (Float) Voltage	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 85°C, I <sub>BAT</sub> =40mA	4.137	4.2	4.263	V
I <sub>BAT</sub>	BAT Pin Current  Text condition: V <sub>BAT</sub> =4.0V	R <sub>PROG</sub> = 2.4k, Current Mode	● 450	500	550	mA
		R <sub>PROG</sub> = 1.2k, Current Mode	● 950	1000	1050	mA
		Standby Mode, V <sub>BAT</sub> = 4.2V	● 0	-2.5	-6	μA
I <sub>TRKL</sub>	Trickle Charge Current	V <sub>BAT</sub> <V <sub>TRKL</sub> , R <sub>PROG</sub> =1.2K	● 120	130	140	mA
V <sub>TRKL</sub>	Trickle Charge Threshold Voltage	R <sub>PROG</sub> =1.2K, V <sub>BAT</sub> Rising	2.8	2.9	3.0	V
V <sub>TRHYS</sub>	Trickle Charge Hysteresis Voltage	R <sub>PROG</sub> =1.2K	60	80	100	mV
T <sub>LIM</sub>	Junction Temperature in Constant Temperature Mode			145		°C

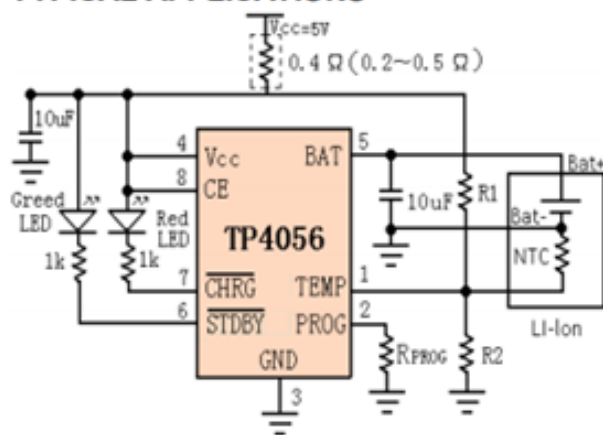
### indicator light state

Charge state	Red LED $\overline{\text{CHRG}}$	Green LED $\overline{\text{STDBY}}$
charging	bright	extinguish
Charge Termination	extinguish	bright
Vin too low; Temperature of battery too low or too high; no battery	extinguish	extinguish
BAT PIN Connect 10u Capacitance; No battery	Green LED bright. Red LED Coruscate T=1-4 S	

### Rprog Current Setting

R <sub>PROG</sub> (k)	I <sub>BAT</sub> (mA)
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

### TYPICAL APPLICATIONS



Link: <https://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>

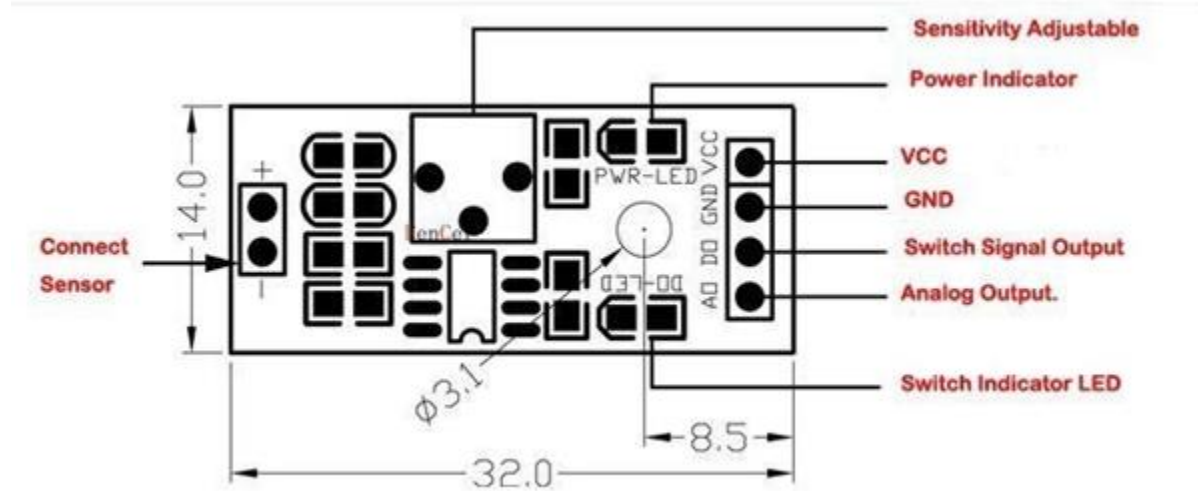
**Anexo D.** Hoja de datos de la batería Litio

5.1 Capacity (25±5°C)	Nominal Capacity: 2600mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Typical Capacity: 2550mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Minimum Capacity: 2500mAh (0.52A Discharge, 2.75V)
5.2 Nominal Voltage	3.7V
5.3 Internal Impedance	≤ 70mΩ
5.4 Discharge Cut-off Voltage	3.0V
5.5 Max Charge Voltage	4.20±0.05V
5.6 Standard Charge Current	0.52A
5.7 Rapid Charge Current	1.3A
5.8 Standard Discharge Current	0.52A
5.9 Rapid Discharge Current	1.3A
5.10 Max Pulse Discharge Current	2.6A
5.11 Weight	46.5±1g
5.12 Max. Dimension	Diameter(Ø): 18.4mm Height (H): 65.2mm
5.13 Operating Temperature	Charge: 0 ~ 45°C Discharge: -20 ~ 60°C
5.14 Storage Temperature	During 1 month: -5 ~ 35°C During 6 months: 0 ~ 35°C

Link: <https://www.ineltro.ch/media/downloads/SAItem/45/45958/36e3e7f3-2049-4adb-a2a7-79c654d92915.pdf>

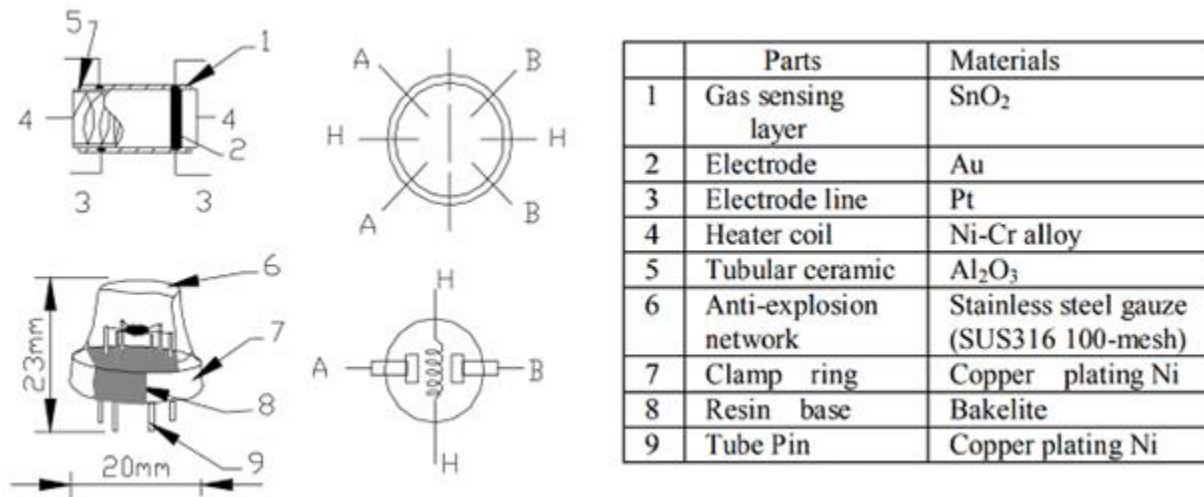


### Anexo E. Hoja de datos del módulo flama



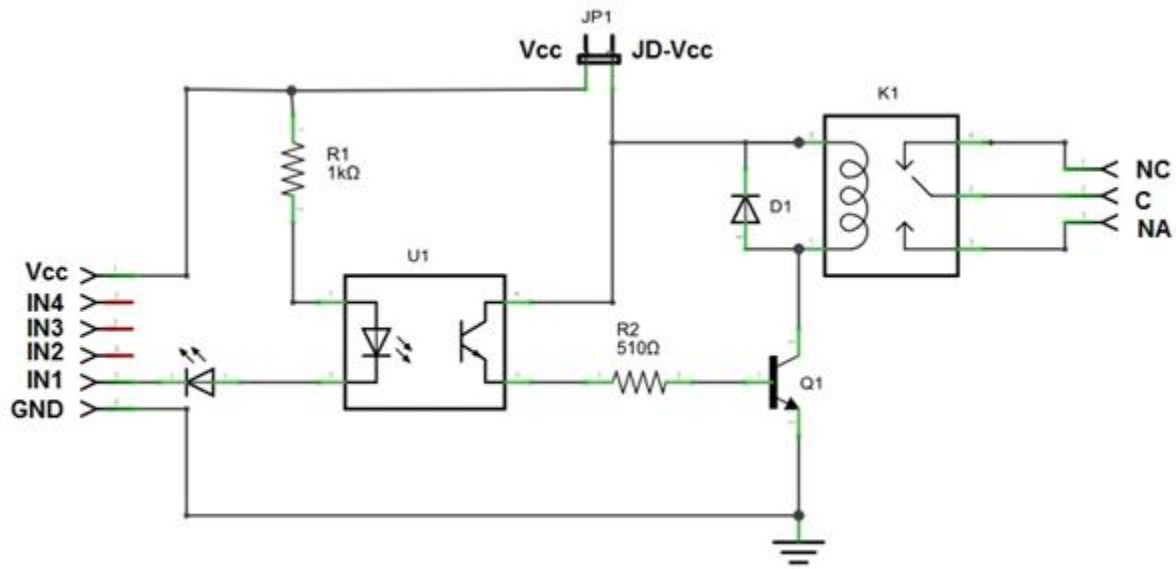
Link: <http://rogerbit.com/wprb/wp-content/uploads/2018/01/Flame-sensor-arduino.pdf>

### Anexo F. Hoja de datos del módulo gas



Link: <https://components101.com/sensors/mq-3-alcohol-gas-sensor>

**Anexo G.** Hoja de datos del módulo relevador



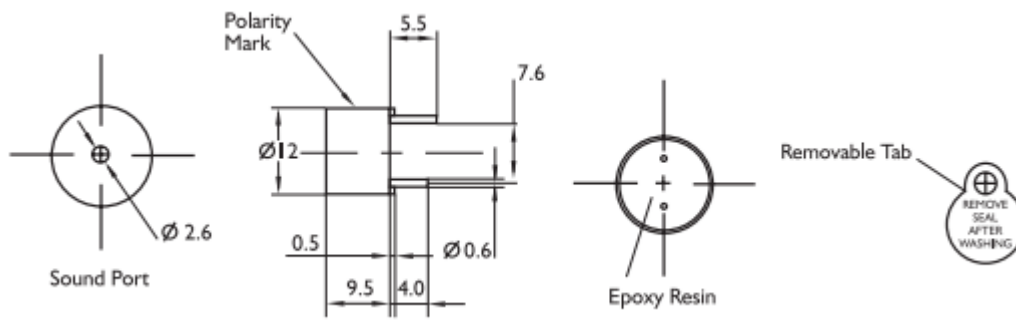
Link: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVI/ARDUINO2/moduloRele.pdf>

**Anexo H.** Hoja de datos del sensor DHT22

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

Link: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

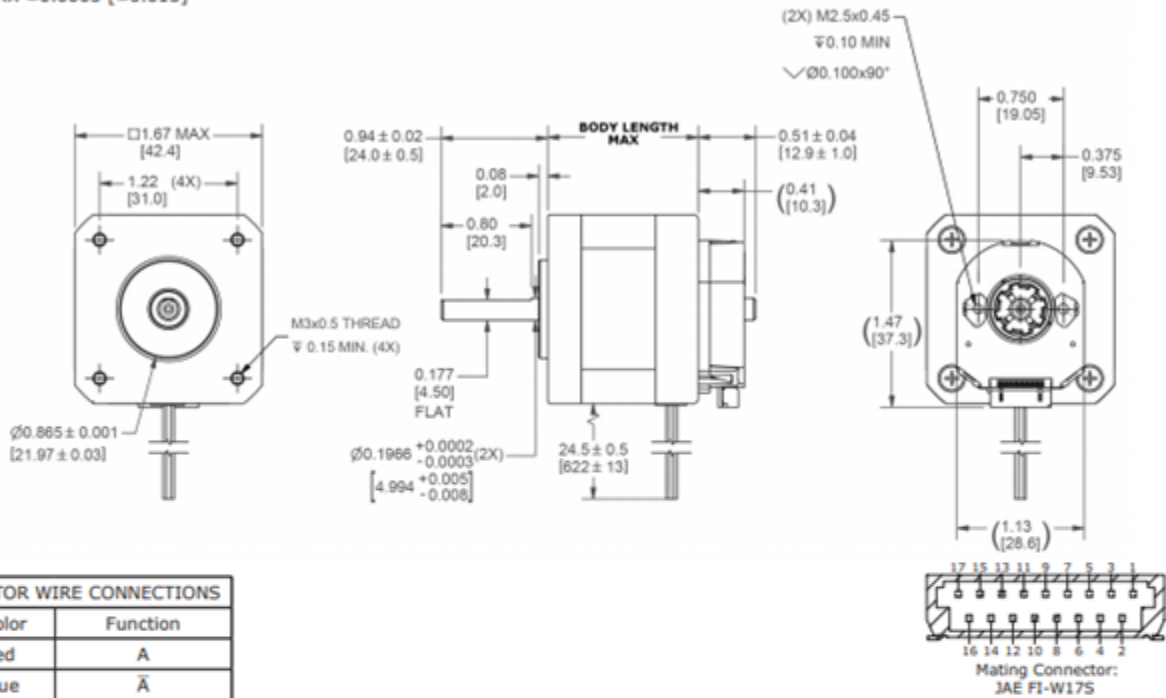
## Anexo I. Hoja de datos del buzzer



Link: <http://www.farnell.com/datasheets/2171929.pdf>

## Anexo J. Hoja de datos del motor a pasos

units: inch [mm]  
 tolerance:  
 X.XX ±0.01 [±0.25]  
 X.XXX ±0.005 [±0.13]  
 X.XXXX ±0.0005 [±0.013]



MOTOR WIRE CONNECTIONS	
Color	Function
red	A
blue	$\bar{A}$
green	B
black	$\bar{B}$
26 AWG <sup>3</sup> , PVC	

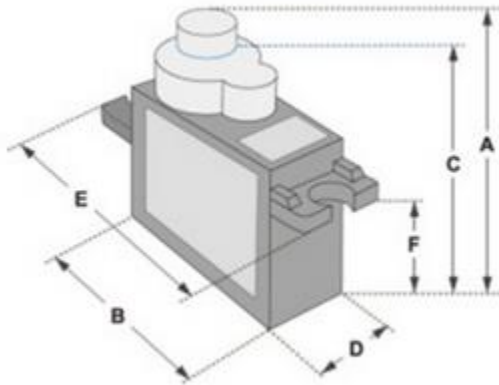
MODEL NO.	BODY LENGTH (inch)	WEIGHT (lb)
NEMA17-13-04SD-AMT112S	1.34	0.50
NEMA17-13-04PD-AMT112S	1.34	0.50
NEMA17-16-06SD-AMT112S	1.58	0.65
NEMA17-16-06PD-AMT112S	1.58	0.65
NEMA17-19-07SD-AMT112S	1.89	0.80
NEMA17-19-07PD-AMT112S	1.89	0.80
NEMA17-23-01D-AMT112S	2.34	0.90

ENCODER CONNECTIONS	
#	Function
1	TX_ENC+
2	RX_ENC+
3	N/A
4	GND
5	N/A
6	+5 V
7	N/A
8	B+
9	N/A
10	A+
11	N/A
12	Z+
13	N/A
14	MCLRB
15	N/A
16	N/A
17	N/A

Note 3. NEMA17-19-07PD-AMT112S & NEMA17-23-01D-AMT112S models have 22 AWG wires.

Link: <https://www.cuidevices.com/product/resource/nema17-amt112s.pdf>

## Anexo K. Hoja de datos del servomotor

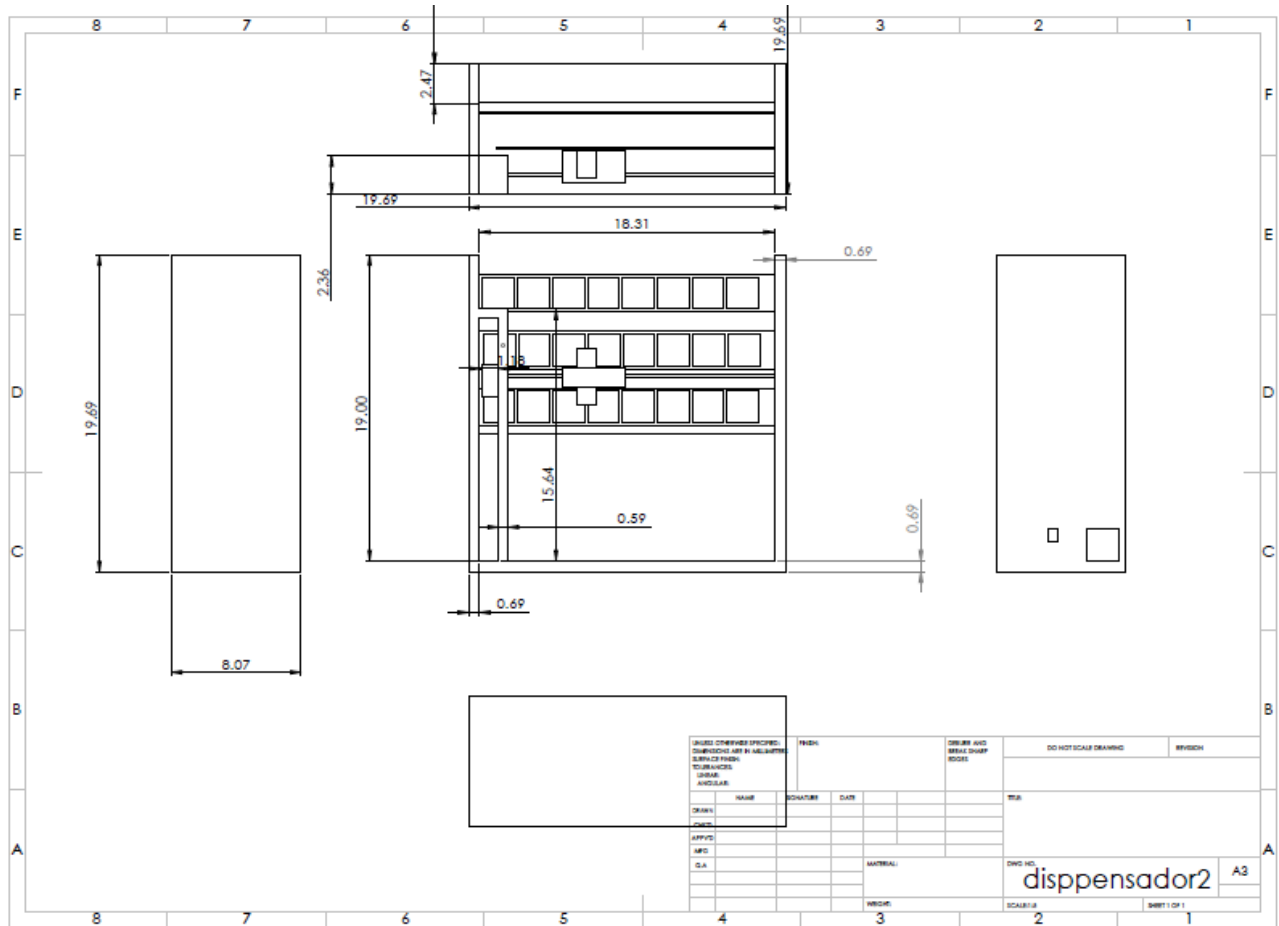


Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

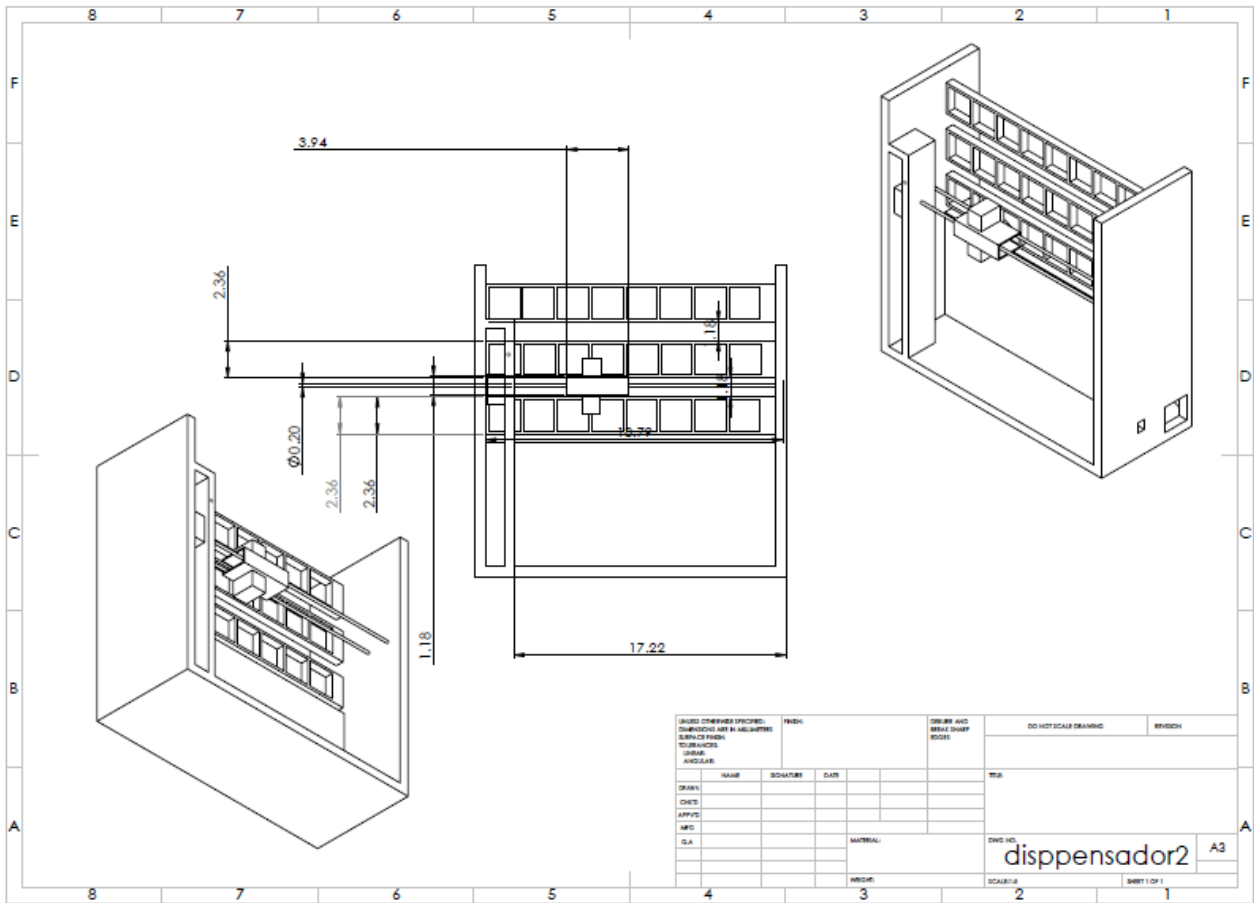
Link: [http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1\\_EE/stores/sq90\\_datasheet.pdf](http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sq90_datasheet.pdf)



**Anexo M. Plano de Dispensador, parte trasera.**



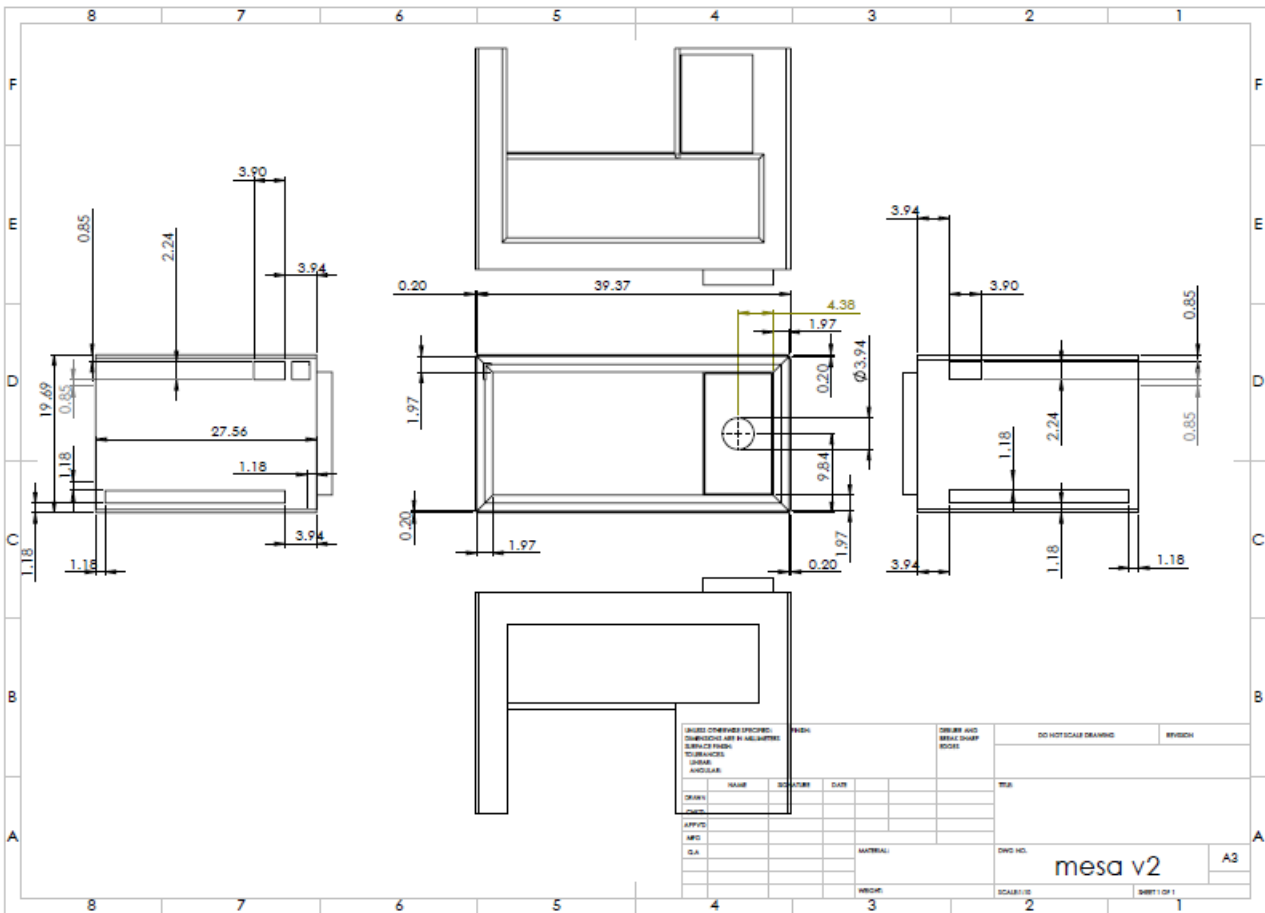
**Anexo N. Plano de Dispensador, parte del eje y la barra.**



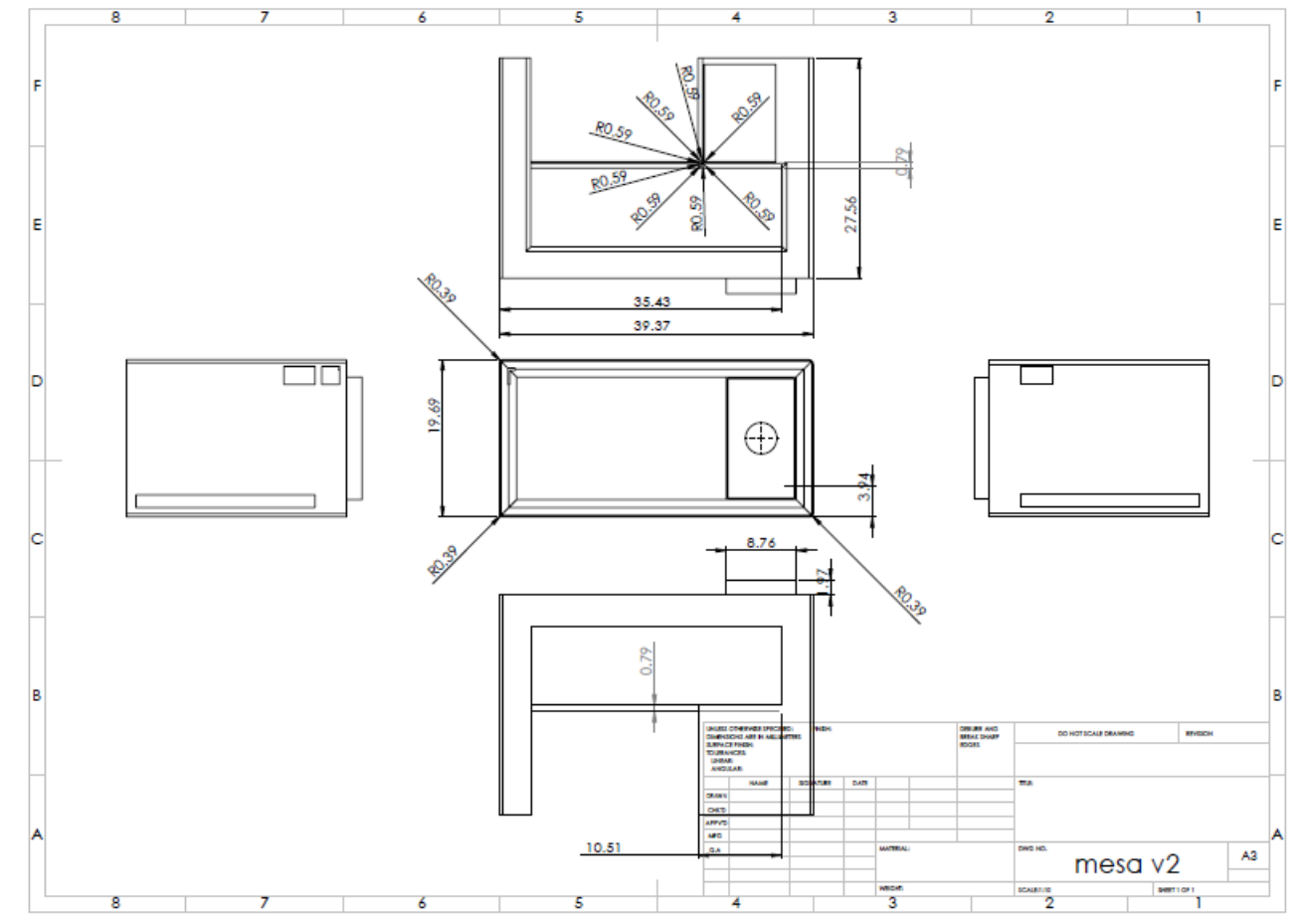




**Anexo P. Plano de Mesa, parte de arriba y lados (derecha e izquierda).**

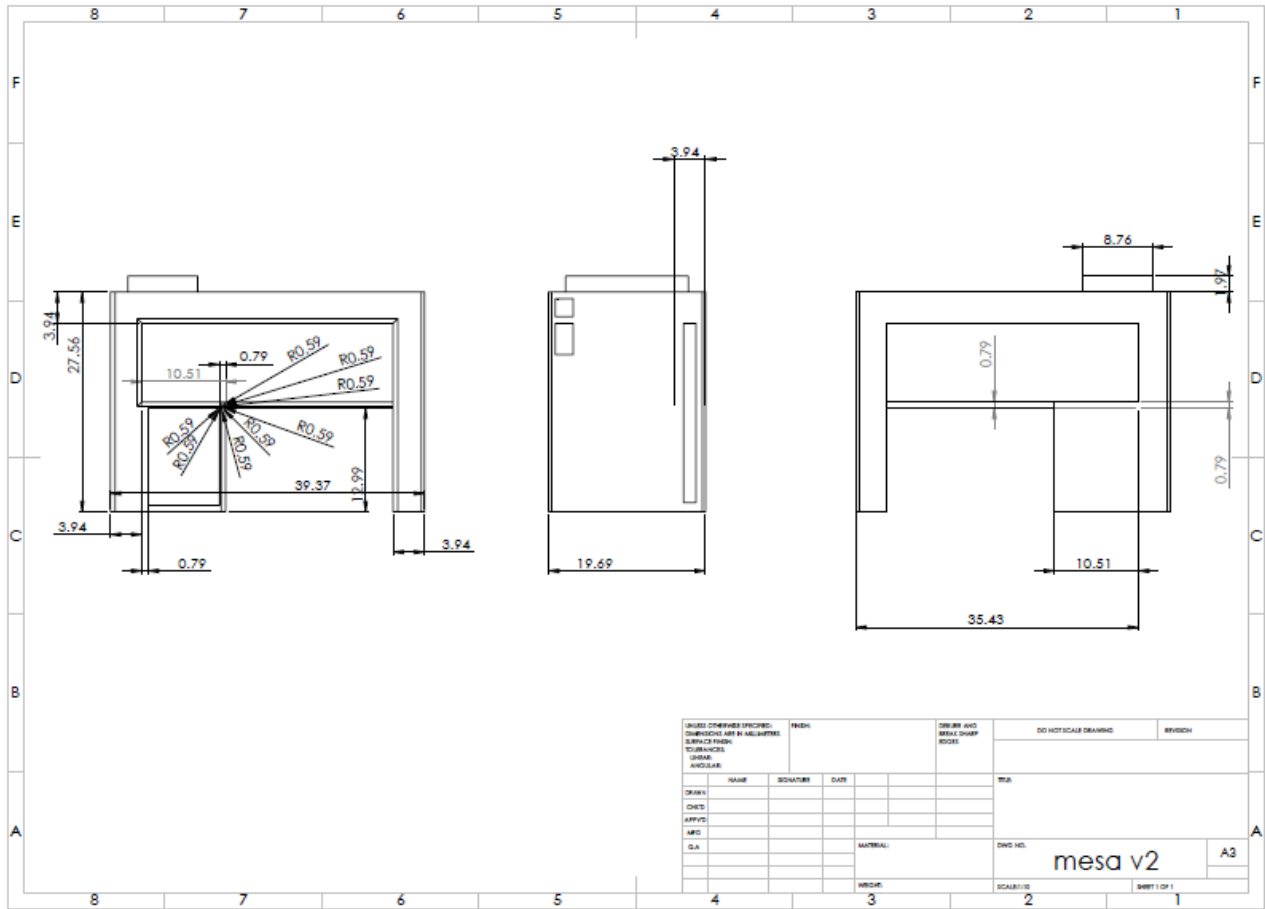


**Anexo Q.** Plano de Mesa, parte de arriba y lados (adelante y atrás).





# Anexo S. Plano de Mesa, reflejos.



## Apéndice

### Artículo 1

Título: Designing a Multiagent System for Elderly Care

Autores: M. Ramírez, C. Lino, V. Zamudio, D. Gutiérrez, H. Puga

Paginas: 9 - 18

DOI: 10.3233/AISE200018

Categoría: Research Article

Series: [Ambient Intelligence and Smart Environments](#)

Ebook: [Volume 28: Intelligent Environments 2020](#)

# DESIGNING A MULTIAGENT SYSTEM FOR ELDERLY CARE

M. Ramírez<sup>1</sup>, C. Lino <sup>\*</sup>, V. Zamudio <sup>\*</sup>, D. Gutiérrez<sup>\*</sup> and H. Puga<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>*Division of Graduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León*

**Abstract.** Currently, society has more aging filters and this is done because: each year the amount of adults who exceed 60 years of age increases, each year more men and women participate in activities outside their homes and thanks to this, new solutions are required to help take care of older people (the elderly). Systems that support us with the care of the elderly at home already exist and some are economic, allowing healthcare centers to obtain them and help them remotely take care of our loved ones. As the years go by, technology has made the comfort of our loved ones at home possible. In this research, a novel architecture and initial prototype is presented focused on comfort and it exploits the multi-agent systems paradigm that includes both stationary and mobile agents. In addition, an adaptative mechanism is presented that allows mobile agents to adapt to diversified local environments.

**Keywords.** Smart Home, Ambient Intelligence, Multi-agent System, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic, Elderly Care.

## 1. Introduction

Currently in first world countries, there exists a program where projects are launched "Active Assisted Living Program Ageing Well in the Digital World", ranging from monitoring physical activity to "happy aging" through home automation systems.

There is another program called MIT AgeLab, which was created to invent new ideas and creatively translate technologies into practical solutions that improve people's health and allow them to "do things" throughout life. MIT AgeLab is a multidisciplinary research program that works with companies, governments and NGOs to improve the quality of the elderly life and those who care for them.

Technology inside homes is one of the advantages of the 21st century. It has created technology and intelligent agents such as: Alexa (Smart device capable of interacting with its buyer and obeying their orders), Google Home (Smart device similar to Alexa), home automation or subdivisions, hospital rooms, etc. Each of these devices or multi-agent systems has its elaboration form and its development plan. This document will develop a strategy to implement multi-agent system which will be able to help vulnerable people or people with different abilities, using a Raspberry Pi.

On the other hand, the project is designed for automation within a house in order to achieve improvements in the quality of people's lives, who will reside in these houses. These improvements are made by adding multi-agent services to the house, in order to

---

<sup>1</sup> M. Ramírez, C. Lino, V. Zamudio, D. Gutiérrez and H. Puga, Division of Graduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León; E-mail: M19241058@gmail.com.

fulfil this, we studied the 4 large groups in which the domotic services are grouped and these are: energy saving, comfort, security and communications.

## 2. Related Work

Currently, life expectancy has increased, with the consequent aging of the population. On the other hand, family structures are changing, children's work and education require more time and if we add a family member with no mobility at home, the difficulty of attending a house has increased. Home automation allows responding to the requirements possible by these social changes and new trends in our ways of life, facilitating the home designs, multifunctional and flexible houses and homes. The home automation sector has evolved considerably in early years and currently offers a more consolidated offer [1-4]. Not only the mechanical part, comfort, patient care, but also energy savings at home [5, 6] are taken into account. The home automation sector is also beginning to implement security within smart rooms, such as fingerprint identifiers [7]. Currently there is a demand for home automation, however, the competition is not as developed as: Alexa, Google Home, independent systems, etc. [8-11].

Today, Smart Home technology aims to provide a home environment, comfortable and energy efficient to improve the quality of the resident's lives through the use of networks designed to work with sensors, actuators and information processing techniques. Most smart homes and their designs emphasize the use of artificial intelligence algorithms [12-17]. Networks that work with sensors [18-20] and multiple information acquisition techniques [21] these systems have also been used to perceive dangerous situations and achieve automatic control of certain household appliances. However, these systems generally involve large amounts of information processing and centralized implementation schemes. Its mechanisms are not optimal to achieve a smart home automation distributed, scalable and robust.

On the other hand, processing mechanisms for the acquisition of distributed and in-network data have been proposed to improve the efficiency and speed of sensor and actuator networks in the acquisition of information and the perception of the situation [22, 23]. Techniques such as adaptive sampling, aggregations within the network, reconfiguration of runtime and multitasking are used to improve query performance with reduced data throughput and energy consumption. In addition, [24] it provides a building management framework for multi-node platforms, which can dynamically capture the morphology of the building and manage groups of multiple nodes with different functionalities. These technologies assume that: (1) only simple operations are involved for the acquisition and performance of data; (2) only basic computer algorithms are used for in-network processing; and (3) the entire system can be developed in a homogeneous manner, except the base station. However, many sensors / actuators for home automation require complicated calibration, configuration and cooperation procedures. In addition, sensors and actuators impose different requirements on hardware and computing capabilities. Machine learning techniques are required for in-network processing to achieve perceptions of context and situation. The learned context and knowledge models should be stored in databases to facilitate access. Therefore, these distributed units must be improved with different computing, communication, configuration and storage capabilities, without losing system scalability and robustness against local failures.



### **3. System configuration and problem statement**

#### *3.1. Smart agents*

A unit that manages to work with hardware and software independently is considered an agent, intelligent agents have some characteristics that distinguish them as:

Agents are developed to target them, they are adaptive and self-reconfigurable. Each agent is able to understand their situation and adapts to changing environments through self-configuration. The perception of the situation is achieved through learning and contextual modeling of event data. After a set of contextual bases is learned from high-dimensional event data, the grouped contextual coefficients can represent different scenarios. Agents can then perceive the situation and locate regions of interest (ROIs) through identified scenarios. Each agent has a behavior state machine and a behavior library, choose a certain behavior according to the individual objectives and the behavior of other agents.

#### *3.2. User interface and event submission*

The user interface has two functions: (1) convert the user's goal and environment and the human context into a set of beliefs, desires and intentions for each agent; and (2) select a communication protocol, a collaboration mechanism and a resource management scheme based on the regulatory policy provided by the user. These inputs will become selections of sensor modalities, algorithms / protocols, context / behavior templates and a resource management policy. There are two types of events: (1) external and (2) internal. External events represent different states of the environment and the behavior of human subjects. Internal events represent different states of agent behavior. These events will be sent to the operating agents and, in each agent, the events will trigger behaviors in certain situations.

#### *3.3. Problem Statement*

If we count the elderly in Mexico, children under 10, people with disabilities or physical and mental disabilities, we would obtain a percentage of 39.7% of vulnerable people registered by the INEGI in Mexico. It is clear that, within these calculations we do not count lesions of lower degrees or temporary illnesses, which are not guaranteed to become well or fixed, but still, they have a probability of occurring.

Within the calculations mentioned, no reference is made to land accidents or daily accidents. In 2018, they registered 365,167 land accidents and more than 12 thousand daily accidents that were recorded in Mexico (INEGI, 2015), can you imagine the probability that in each of those accidents any person could end up injured or disabled?

After speaking to a few people in an elderly care center (this includes the elderly care staff and the clients) we decided to focus our attention on the elder and not on all the vulnerable people themselves. So we asked ourselves the real question and problem we want to focus on: Is it possible to design and build a multi-agent system capable of serving the elderly?

## **4. Agent evaluation and benefits**

### *4.1. Agent Evaluation*

This project plans to design a table that can be located in the center of the living room in any home, thinking about the comfort, safety and care of an individual. A table inside the home is categorized as a decorative and reliable piece of furniture, which is why he chose it as our costumed multi-agent. To be able to take care of our loved ones and rely on technology and its safety, an investigation will be carried out to determine which materials will be used in the manufacture of the table and what will be the ideal way for our patient to run the least possible risk. In case of an accident.

The comfort is another important point within the design of the multi-agent, a table that has the appropriate height, prudent dimensions and neutral colors should be built so that the "table" fits the house in the least remarkable way. Most vulnerable people consume medications and the table will have the task of recording the medications consumed, the consumption hours and notifying the patient the time in which they should consume their medications in order for them to maintain a healthy patient.

In order to carry out the design of the multi-agent, a Raspberry Pi will be used. This board was chosen so we could be able to design a practical application of a fuzzy controller, developed by the Raspberry Pi 3 embedded system and to be able to make use of the Python programming language, as well as for the control of the GPIO's (General-Purpose Input / Output) of the Raspberry.

The objective of the controller is to keep the multi-agent in a proposed interval which will allow different devices to be activated by means of a control signal, manipulating the signal in the form of diffuse quantities, thus carrying out the defuzzification process to obtain the control signal, which will interact with the final actuators.

### *4.2. Project requirements*

The devices that will be use are: A Raspberry Pi 3 as the brain of the intelligent agent that will register all the data and two ESP32 that will work as monitors, they will monitor the house to be sure of the security (no gas leaks and temperature control). This is done because the elder doesn't always stays in the living room and we want to know if his/her temperature levels are appropriate, also, the elder frequently forgets to turn off the stove or has gas leaks and doesn't know it.

The Raspberry Pi will have a few sensors and some actuators which are: A DHT sensor (temperature sensor) which will read the temperature of the elder in the living room, a touch sensor that will control the light that will be attached underneath the table so he can see the floor and prevent any accidents. Several motor and endless screws to provide him or her with the pills the required (they will activate when the schedule programmed reads that it's time to take their medicines) and a buzzer that will be activated when it's time to take the pills and it will not shut down until the elder presses the button that indicates that he took the pills and when he does the program will automatically register the date and hour he took the pill.

In one of the ESP32 it will have a temperature sensor (DHT) and a fan. This device will be located in the middle of the house (if it's a small house) or in a place where the elder can locate his or her fan and it would get to them, the device will be wireless.

The second ESP32 will have a gas sensor to read gas leaks and a fire and a temperature sensor to prevent fire accidents, this sensor will also be wireless and it will be located at the kitchen of the elder's house.

#### *4.3. Scope and limitations*

Communication within the room will be limited, while the system is within a moderate range, the communication signal should have no problem with its reception. The automatic part has a limit of I / O ports, which one is used for one of the available inputs or outputs (digital signals), if it exceeds the number of inputs and outputs an external expansion will be necessary. The disabled or in need person, owner of the device will have to have a data acquisition system and must have the basic knowledge of "how to turn on a device". People who wish to purchase this system should not necessarily have any physical limitations, anyone who can reason could use the device or system for pleasure or convenience.

In order to collect information, a data analysis will be performed to find regularities or abnormalities in the information. This will be carried out in order to take preventive or corrective actions within the implementation of the project through diffuse logic.

#### *4.4. Practical implication*

A number of practical implications are associated to this research, including:

- The intelligent agent would decrease the need for mobility
- It will help with medication registration
- The system will remember the consumption hour of medications and their schedules
- The table will provide accessible and easy-to-use electrical contacts
- and accessible lights
- Sliding tray, carrier for glasses or cups.

#### *4.5. Social relevance*

- It helps society to realize that our loved ones depend on special care and if we cannot give it to them, we have the obligation to look for the way in which they can be treated as they deserve.
- It gives people the opportunity to look out for themselves in the future and it gives them the option to avoid having to be dependent on their elderly years.
- It creates a social impact, so that people begin to care socially and our society generates engineers who look out for vulnerable people.

#### *4.6. Methodological utility*

Collection of medical data, compile the schedules in which patients take their medications and help their memory.

## 5. Methodology

### 5.1. Electronic Process

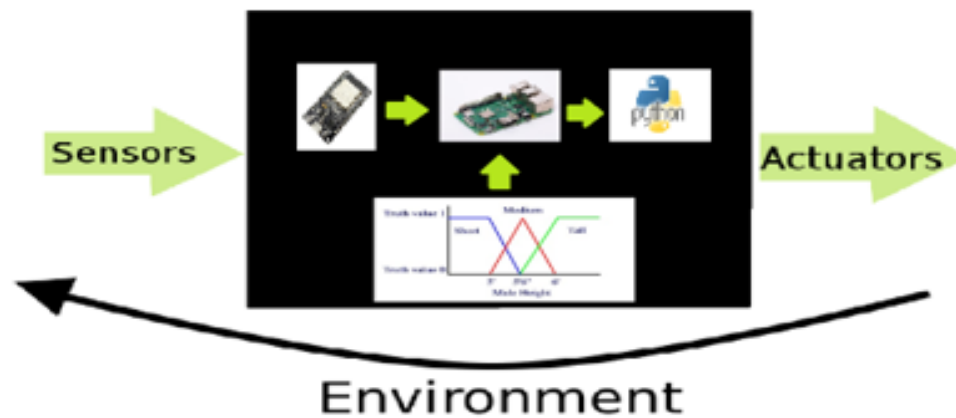
Achieving this project will take a lot of electrical work, we have to start programming the gas and temperature sensors in python which will be programmed as analog inputs, next we program the fan and power test it with the Raspberry Pi. After designing the basic Python program with input and outputs we communicate the ESP32 and Raspberry Pi and perform Wifi tests, we switch the programs to the ESP32s and add the buzzer notifications.

Once we finish the Wifi communication between the raspberry pi and the ESP32 we start programming the touch sensor so we can start designing the circuit plate and providing the cables and devices for the second stage of the project, building the structure. We will create the table design in SolidWorks, add mechanisms to the table, decorate the table, add the motors and endless screws to the pillbox and design the final circuit plate. After we finish, we will provide material for corrections, in case of any error or technical difficulty and we will make any corrections in mechanisms or programs.

We would like to clarify that only the first stage of the electronic work has been finished, as will be explained in the following section.

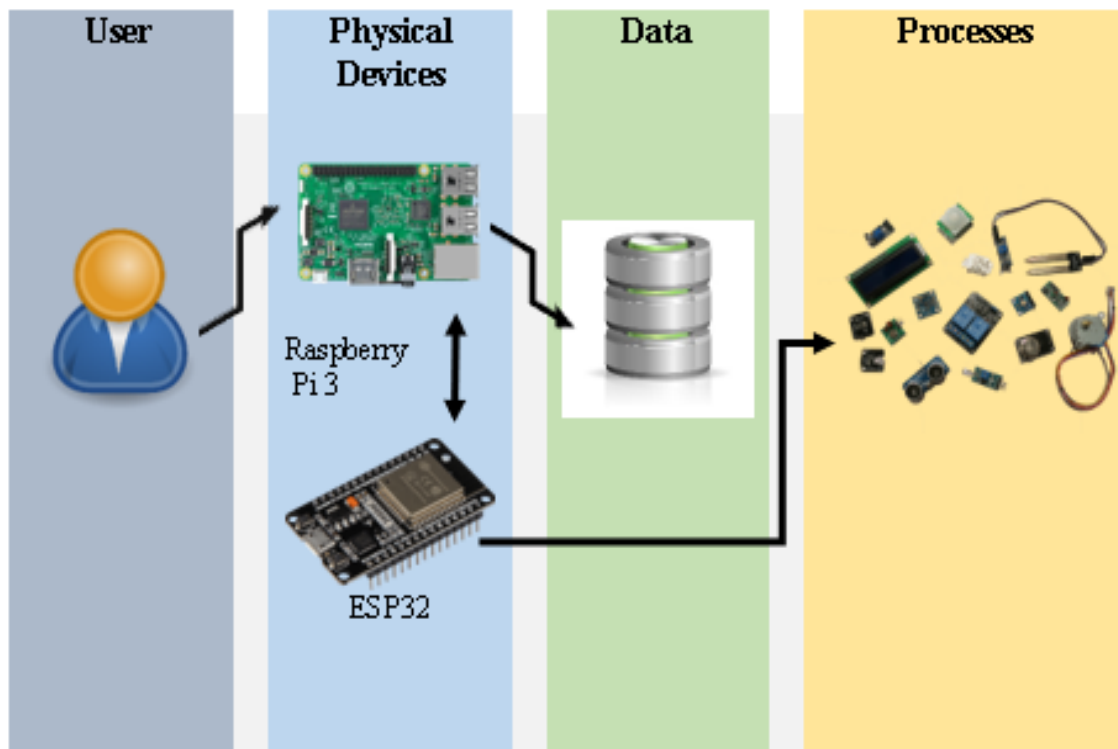
### 5.2. Electronic design

As it is shown in figure 1, an electronic device will be used to perform sensor reading, a program will command the actuators actions and analyze the program to apply fuzzy logic.



**Figure 1.** Electronic System.

In this case, the Raspberry Pi 3 will be used in communication with the ESP32 so it can be able to communicate wirelessly via Wi-Fi, the sensors that will write the data will be: a gas sensor, a flame sensor, 3 DHT22, and some touch buttons, the actuators that will react to data writing and programming will be: motors with endless screws, a buzzer and a registration system within a Raspberry Pi document.

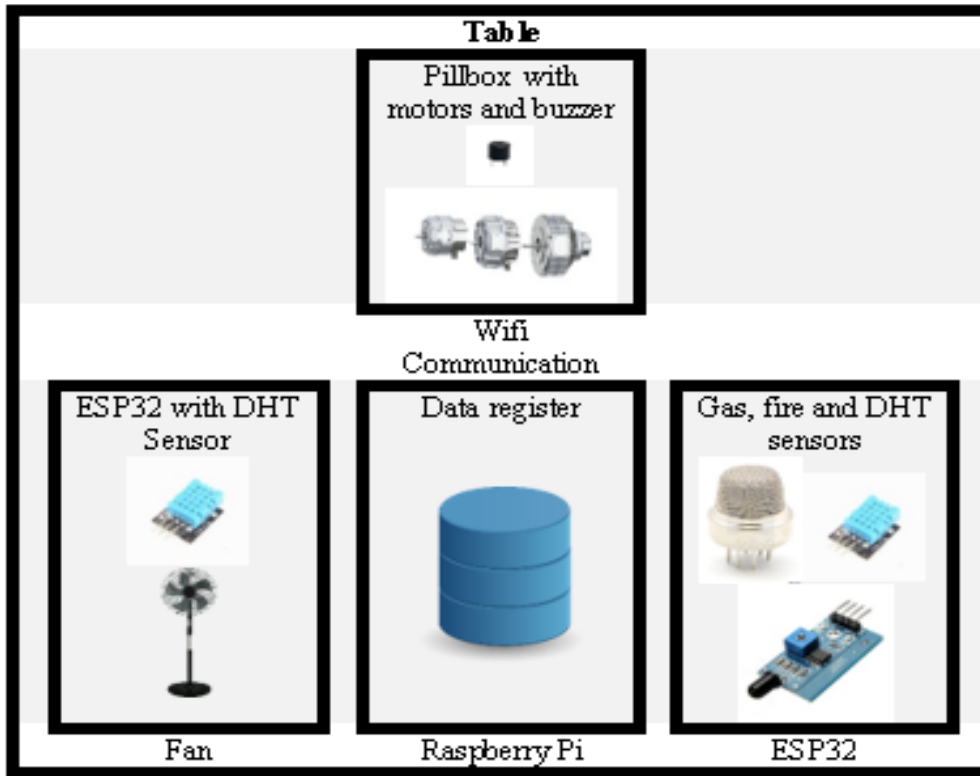


**Figure 2.** Multiagent Electronic Design.

As it is shown in Figure 2, the Raspberrypi will act as a CPU and the communication center between the two ESP32 connected via Wi-Fi. The ESP32s will be connected to the flame, gas, temperature, touch sensor, motor, buzzer and fan sensors via a relay actuator. When the reading is done, these readings will be recorded within a .txt in the PCU.

### 5.3. Physical design

The intelligent agent will be disguised as a table, which will have a section for the pillbox that will include the motors and the endless screws for its movement. The table will also have a buzzer for notifications and an ESP32 that controls the pillbox and buzzer and a touch sensor with the DHT that measures the ambient temperature.



**Figure 3.** Physical Design and Structure.

Figure 3 shows that the intelligent agent will communicate via a Wi-Fi connection with a fan that will be connected to an ESP32 so that it can react automatically with the ambient temperature. An ESP32 will be installed at the kitchen so that through a gas and flame sensor it can provide security. The agent's brain, which will record the data obtained will be wireless and mobile through a Raspberry Pi.

## 6. Preliminary results

Currently, as the first step to complete the prototype, a Python program was designed using the Raspberry Pi 3; which already makes use of a Buzzer that notifies the moment (date and time) in which the patient must take their medications (turns on a led) and ends this notification with the recording of data by pressing a button that indicates that the patient took your medication, the record includes the date and time the button was pressed (Buzzer's stop). As a next step, the flame sensor and the gas sensor were programmed in Python through the Raspberry Pi 3 to send a notification through the Buzzer, if any of these sensors detects a gas or fire leak inside the house, it will activate the Buzzer. It is worth mentioning that for each one of the notifications (led lighting, medication intake and detection by means of the sensors) a different output (noise or sound) was programmed to show the difference.

Another very important step that was carried out was the wireless programming of the ESP32, currently we already have wireless communication through MQTT (mosquitto). As previously mentioned, it is important to have a Wi-Fi communication between each of the devices so that the patient is secure while these devices do their work in the place they are required. Communication was an essential step and now the first program is begin reorganized. Thanks to wireless communication, you can now divide the program that was made on the Raspberry Pi and program each of the ESP32 with their respective sensors (this part is the one that is currently being worked on in order to end the wireless communication).

Once the wireless part is finished, we will begin to design the physical structure of the intelligent agent and the mechanisms it will use. Great goals have been achieved in the project from this point and it will soon reach its final result in order to fill the needs of vulnerable people.

## 7. Conclusions and future works

A novel architecture for assistance for elderly people has been presented. We expect the system will be able to impact positively, and that it will help people realize that our loved ones depend on special care and if we cannot give it to them, we have an obligation to look for the way to do it, so they can be taken care the way they deserve. The main focus of the project is to provide assistance for the elderly, encouraging the possibility to live an independent life as much as possible according to individual needs. Technology must help people, and engineers should design smart devices according to the needs of vulnerable people.

As we mentioned before, this project is in an early stage. We hope to present our results in future conferences..

## References

- [1] Casas, R. (2008). User Modelling in Ambient Intelligence for Elderly and Disabled People. In: Miesenberger K., Klaus J., Zagler W., Karshner A. (eds) *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2008. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5105. Springer, Berlin, Heidelberg
- [2] González, E. (2014). Ambient intelligence based multi-agent system for attend elderly people. 2014 9th Computing Colombian Conference, 9CCC 2014, pages 115–120.
- [3] Casaccia, S., Pietroni, F., Scalise, L., Revel, G. M., Monterù, A., Prist, M. R., Frontoni, E., and Longhi, S. (2018). Health@Home: Pilot cases and preliminary results: Residential sensor network to promote the active aging of real users. 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, Proceedings.
- [4] Gu, H., Diao, Y., Liu, W., and Zhang, X. (2011). The design of smart home platform based on Cloud Computing. Proceedings of 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, EMETIT 2011, 8:3919–3922.
- [5] Cabrera, J., Mena, M., Parra, A., and Pinos, E. (2017). Intelligent assistant to control home power network. 2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2016, (Ropec).
- [6] Longo, M., Roscia, M. C., and Zaninelli, D. (2015). Net zeroenergy of smart house design. 5th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, ICCEP 2015, pages 548–553.
- [7] Verifikasi, D. A. N., Jari, C. A. P., and Sulung, G. B. I. N. (2005). Design and Development of an Automatic Fingerprint Verification System. Pages 1–5.
- [8] Cu PHAM, Y. L. and TAN, Y. (2018). A Platform for Integrating Alexa Voice Service Into 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics- Taiwan (ICCE-TW) A.

- [9] Parwar, A., Singh, A., Kumawat, R., Aidka, S., and Garg, K. (2018). Eyrle smart home automation using Internet of Things. *Proceedings of Computing Conference 2017, 2018-January (July)*:1368–1370.
- [10] Rajalakshmi, A. and Shahmasser, H. (2018). Internet of things using nodered and alexa. 2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2017, 2018-January: 1–4.
- [11] Kepuska, V. and Bohouta, G. (2018). Next generation of virtual personal assistants (Microsoft Cortana, Apple Siri, Amazon Alexa and Google Home). 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2018, 2018-January(c):99–103.
- [12] Qela, B.; Mouftah, H. T. (2012). Observe, Learn, and Adapt (OLA)—An Algorithm for Energy Management in Smart Homes Using Wireless Sensors and Artificial Intelligence. *IEEE Trans. Smart Grid* 2012, 3, 2262–2272.
- [13] Duong, T. V.; Phung, D. Q.; Bui, H. H.; Venkatesh, S. (2005). Efficient Coxian Duration Modelling for Activity Recognition in Smart Environments with the Hidden Semi-Markov Model. In *Proceedings of 2005 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference*, Melbourne, Australia, 5–8 December 2005; pp. 2262–2272.
- [14] Gaddam, A.; Mukhopadhyay, S. C.; Gupta, G. S. (2011). Trial & Experimentation of a Smart Home Monitoring System for Elderly. In *Proceedings of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, Hangzhou, China, 10–12 May 2011; pp. 1–6.
- [15] Sun, Q.; Wu P.; Wu Y. (2012). Unsupervised Multi-Level Non-Negative Matrix Factorization Model: Binary Data Case. *J. Information Security* 2012, 3, 245–250.
- [16] Gaddam, A.; Mukhopadhyay, S. C.; Gupta, G. S. (2011). Elder care based on cognitive sensor network. *IEEE Sens. J.* 2011, 11, 574–581.
- [17] Stefanov, D. H.; Bien, Z.; Bang, W.-C. (2004). The smart house for older persons and persons with physical disabilities: Structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2004, 12, 228–250.
- [18] Sun, Q.; Hu F.; Hao Q. (2013). Human Activity Modelling and Situation Perception Based on Fiber-optic Sensing System. *IEEE Trans. Human Mach. Syst.* 2013, in press.
- [19] Zhong, D.; Ji, W.; Liu, Y.; Han, J.; Li, S. (2011). An improved routing algorithm of Zigbee Wireless sensor network for smart home system. In *Proceedings of 2011 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, Wellington, New Zealand, 6–8 December 2011; pp. 346–350.
- [20] Tsou, Y.-P.; Hsieh, J.-W.; Lin, C.-T.; Chen, C.-Y. (2006). Building a remote supervisory control network system for smart home applications. In *Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC '06*, Taipei, Taiwan, 8–11 October 2006; Volume 3, pp. 1826–1830.
- [21] Zhang, L.; Leung, H.; Chan, K. (2008). Information fusion based smart home control system and its application. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2008, 54, 1157–1165.
- [22] Madden, S. R.; Franklin, M. J.; Hellerstein, J. M.; Hong, W. (2005). TinyDB: An acquisitional query processing system for sensor networks. *ACM Trans. Database Syst.* 2005, 30, 122–173.
- [23] Mueller, R.; Alonso, G.; Kossmann, D. (2007). Swiss QM: Next generation data processing in sensor networks. *CIDR 2007*, 7, 1–9.
- [24] Fortino, G.; Guerrieri, A.; O'Hare, G.; Ruzelli, A. (2012). A flexible building management framework based on wireless sensor and actuator networks. *J. Netw. Comput. Appl.* 2012, 35, 1934–1952.



## **Artículo 2**

Título: Fuzzy-Regulated Assistant based on Mental Engagement: A Multi-Agent Approach to Elderly Care

Autores: M. Ramírez, C. Lino, V. Zamudio, D. Gutiérrez, H. Puga, A. Rojas

Link del artículo: <https://www.mdx.ac.ae/ie2021>

# Fuzzy-Regulated Assistant based on Mental Engagement: A Multi-Agent Approach to Elderly Care

María Isabel Ramírez Martínez, Carlos Lino Ramírez, Víctor Manuel Zamudio Rodríguez,

David Asael Gutiérrez Hernández, Héctor José Puga Soberanes, Alfonso Rojas Domínguez

Postgraduate & Research Division, Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de León, Av. Tecnológico S/N, León Guanajuato, México, 37290

Email: [isaram1213@gmail.com](mailto:isaram1213@gmail.com)

**Abstract**— We present a device designed to provide assistance to an older adult in their home. Conceptually, this assistant is conceived as a multi-agent system designed to monitor and regulate itself according to the mental engagement of the user and contribute to help them maintain adequate levels. Physically, the assistant is realized as a desk, equipped with an automated pill dispenser and interconnected with other devices intended to provide security and comfort to the user. Through simulations it was possible to confirm that the system performs as desired for diverse scenarios. This conclusion encourages us to proceed with the next stage of development, where real data will be collected employing the prototype of the system described herein.

*Keywords*—multi agent system, assistant, fuzzy logic, elder care

## I. INTRODUCTION

Through the sharing of knowledge and technology, family structures have also changed over time, with increasing numbers of young and middle-aged adults living on their own, supporting mono-parental families, maintaining high inter-city mobility and showing, in general, more independence from their parents than previous generations. This, coupled with the ever-increasing time-consuming aspects of modern life, such as work, raising children, education, and leisure, causes a large imbalance between the elder population requiring special care and the proportion of the younger population with the availability and resources required to take care of their elder relatives.

Unfortunately, the scenario described above implies that a significant proportion of the elder population, including those that may require continuous care, is forced to live on their own. Besides the obvious risks connected with such a situation, there is also evidence supporting the association between isolation (a measurable lack of social relationships) / loneliness (perceived social isolation) and poor mental health [1]. In particular, living in isolation is linked to highly prevalent mental disorders in the elderly population, such as anxiety and depression [2], as well as to some degrees of cognitive impairment and dementia [3][4]. In turn, said disorders, as well as isolation itself in older adults, negatively affect their health, including all-cause mortality [5-7].

On the positive side, some of the negative effects of isolation, particularly on mental health conditions, can be avoided to some degree with relative ease by means of all forms of social support (pecuniary, emotional, functional, structural) [8], as well as support-group activities, including animal-assisted activities [9, 11]. A key concept encountered throughout all these preventive and therapeutic activities is the need to maintain an active mental engagement (this mental engagement depends on the mental health of the patients; depression) of the subject.

The range of technology solutions available is very wide. For instance, there are projects ranging from monitoring physical activity to "happy aging" through home automation systems. Home automation endeavors to provide a response to the requirements of today's way of life through multifunctional and flexible home designs [12, 13], including energy efficiency [14, 15], information processing and management [16-19], etc. The designs emphasize the use of artificial intelligence [20, 21], sensor networks and multiple information acquisition techniques [22-26].

Some of the systems are specifically designed for elder care and people with physical disabilities [27-31]. However, these systems generally involve large amounts of information processing and centralized implementation schemes [32]. Additionally, recent studies show that while there is significant interest in applications focused in improving cognitive functioning and treating mental illness, one of the main reasons not to adopt said technologies is a concern about data privacy [11]. This suggests that there exists an opportunity to develop intelligent systems able to simultaneously provide assistance to the users in everyday tasks as well as to help them improve or maintain cognitive functioning but without requiring to process large amounts of information, particularly, the user's sensitive data.

In this work we present a device designed to provide assistance to an older adult in their home. Conceptually, this assistant is conceived as a multi-agent system designed to monitor and regulate itself according to the mental engagement of the user and contribute to help them maintain adequate levels. Physically, the assistant is realized as a desk, equipped with an automated pill dispenser and interconnected with other devices intended to provide security and comfort to the user.

---

This work was partially supported by the National Council of Science and Technology of Mexico (CONACYT) through postgraduate scholarship: 744223 (I. Ramírez).

## II. BACKGROUND AND RELATED WORK

In the recent literature, there exist numerous proposals of intelligent systems designed to assist and provide users with increased comfort, security and healthcare. Many of those describe complex inhabited environments and homes [33, 34]. In this work, we are interested in systems that follow an agent-based approach, particularly, multi-agent systems [35]. This approach is highly popular because agents allow us to model and simulate complex systems with relative ease. In the following subsections we provide a review of the basic theoretical concepts, as well as of some of the works in the literature that are closer to our current development.

### A. Smart agents

A unit that either in hardware or software can work independently of others is considered an agent. Agents are developed to target individual objectives that contribute towards a global objective, and their behavior is adjusted according to the objectives and the behavior of other agents. Intelligent agents possess some important features that characterize them: each agent is able to understand its own situation and adapt to changing environments through self-reconfiguration. The perception of said situation is achieved through learning and contextual modeling of event data. A set of contextual bases is learned from high-dimensional event data, so that the grouped contextual coefficients can represent different scenarios. Each agent has a behavior state machine and a behavior library, so that they can choose the tasks they should carry out depending on the identified scenarios.

Another important concept is that of the autonomy of an agent. Intelligent agents should possess some degree of autonomy with respect to other agents and to a central control unit. The autonomy level can be adjusted. Mostafa et al. [36] presented a general framework for formulating adjustable autonomy of multi-agent systems based on fuzzy logic.

### B. Fuzzy Logic Control

A Fuzzy Logic Controller can be understood as a mapping from a set of multi-dimensional inputs usually provided as qualitative or linguistic information, into control outputs that are precise enough to guide the behavior of different devices [37]. This process is usually achieved by defining set of membership functions that capture the designer's understanding of the system (or that can be learnt by the system itself through machine learning algorithms), and a set of fuzzy rules that perform the actual mapping between the inputs and control signals. In our current application, this method can be employed to convert the system's goals and environment information into a set of beliefs (understanding of the environment), desires (individual goals) and intentions (a set of actions to be carried out) for each agent.

### C. Physical Implementation and Communications Protocol

Regarding the physical implementation of a multi-agent system for elderly care, many of these are realized as smart homes and environments with dedicated sensor/actuator networks. Another popular alternative are the so-called virtual assistants and assistive devices, that differ from the smart homes in the extent and way in which the agents

(including sensors and actuators) are deployed and interconnected to form the system, for instance, through the use of the Internet of Things (IoT) scheme as the communications protocol [38].

### D. Physical Implementation and Communications Protocol

Regarding the physical implementation of a multi-agent system for elderly care, many of these are realized as smart homes and environments with dedicated sensor/actuator networks. Another popular alternative are the so-called virtual assistants and assistive devices, that differ from the smart homes in the extent and way in which the agents (including sensors and actuators) are deployed and interconnected to form the system, for instance, through the use of the Internet of Things (IoT) scheme as the communications protocol [38].

In this work, due to some advantages (such as economy of the implementation, complexity of the system, and goals, etc.) we have opted to develop an assistive device with a limited number of agents and as an IoT system that would allow us to add agents or devices and scale up the system in the future without much difficulty. Also, our system includes a customized device in the form of a pill dispenser to monitor and automate the administration of drugs to the user. In the literature there are also some proposals of similar devices. Two recent examples that describe similar devices (in design and functionality) to our own development are [39, 40]. A complete description of our assistance system is presented in the following section.

## III. METHODOLOGY

This section is organized in two subsections. The first section describes the platform development, that is, the physical implementation and communications protocol of our assistance device. The second part describes the software development, which includes the procedure for the regulation of the system based on fuzzy logic and other details.

The main objective of the assistant is to assist the user with his/her medication, by learning and remembering medications times and keeping a record of when the user actually took their pills. This part of the system is intended to help the memory of the user and its priority is the health of the user. The rest of the agents have other priorities such as the user's security and comfort, as described next.

### A. Platform development

An intelligent assistance device, disguised as a desk was designed and built for people with disabilities and the elderly, as a priority objective, the system is designed to keep an adequate record and manage the administration of the user's medications. Besides the desk, our system includes three other agents/ devices, with wireless sensors to monitor and register the interaction of the user with the assistant. These agents are assigned a level of autonomy, which define the degree of interaction that the agents are expected to maintain with the user, as follows:

Autonomous agents: user should interact with them *rarely*; their priority is user's safety. In this work we have included one agent of this type, the Gas leak/fire alarm

Semi-autonomous agents: user should interact *regularly* with them and their autonomy level can change. Their priority is user's health. We included two agents of this type, one agent to control Lights and one agent for a Pill dispenser.

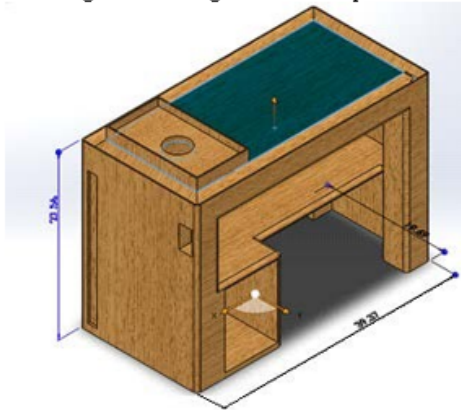


Fig. 1. Design of the main unit of the assistance system, disguised as a desk.

Non-autonomous agents: user should interact *often* with them to show that he is engaged. Their priority is user's comfort. Only one agent/device of this type is included, a Fan.

It was decided to use a Raspberry Pi-3 as the computing device, suitable for a low-cost prototype. The physical design of the desk was developed in SolidWorks (see Fig. 1). The design of the desk was thought through to avoid accidents by removing the corners of the desk to avoid accidents, giving it a suitable height to avoid back pain, adding lights to the sides to avoid tripping, wheels so that the seniors do not have to carry a piece of furniture, etc. Wiring is hidden from the user to improve the aesthetics of the agent and avoid health hazards. Other features are a drawer, a sliding tray for lunchtime, and convenient electrical outlets. The material employed in the construction is wood, to provide stability and offer a friendly/familiar face to the user.

The agent in charge of keeping track of the user's medication was designed as a pill dispenser using SolidWorks (see Fig. 2). The construction uses wood because this design is less intimidating to senior users which may not be familiar with the look of modern devices. For similar reasons it does not include a screen, so the interaction between agent and user is limited to the pressing of a button and sound cues emitted by the system. The button activates the dispenser only within a brief window around the scheduled time for the administration of the medications. Otherwise, the pressing of the button is recorded as user interaction (which will be used to adjust the system's behavior), but the pills will not be delivered, since doing so out of schedule would put the user's health at risk.

A second agent is related to the control of lights, and this agent is designated as a semi-autonomous agent. In this way, the agent can turn on the lights automatically, after it has learned the user's habits, but the user can also activate the lights if he/she so decides. Light patterns can be used to call the

attention of the user, and all activations of the device are recorded so that they can be used for regulation of the system.

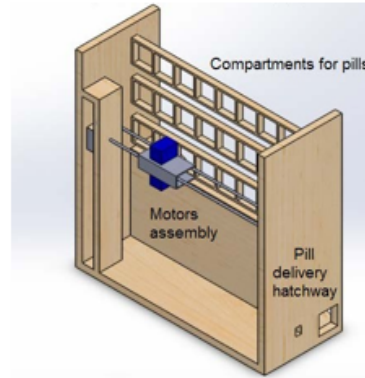


Fig. 2. Pill dispenser design. The cover is not included to allow for the visualization of the internal design.

The third agent includes a temperature sensor and a regular fan. Although the fan can be turned on automatically, in this work we designated the fan as a non-autonomous agent, so that user interaction is required to activate it. As with the pill dispenser (and the other agents in our system), all activations of the device are recorded to compute the mental engagement level of the user with respect to their environment (from the perspective of the assistance device).

The fourth agent is in charge of a gas leak/fire alarm, and includes sensors to detect these events as well as a buzzer to activate an audible alarm if needed. Naturally, user interaction is not needed for the operation of this agent, and so it is designated as an autonomous agent. Manipulation of the sensors or the buzzer by the user is recorded, because excessive interaction (engagement) may indicate that the user is suffering some form of anxiety and could also damage the device or produce a malfunction. The same can be inferred from the excessive interaction of the user with other agents, but the amount of interaction that is considered as excessive depends on the agent. Details are found in Section III-B.

A functional diagram of our system is shown in Fig. 3. On the Raspberry Pi-3 the i2c (Inter-Integrated Circuit) is activated to communicate with the RTC (Real Time Clock) and the operating system is programmed to obey the RTC without Wi-Fi inside the terminal. The special Raspberry GPIOs (general-purpose inputs/outputs) were assigned for the i2c port, as well as the ports for the gas and temperature sensors; These sensors were programmed within the same code as binary sensors (the gas and flame sensors), the DHT (density, humidity temperature sensor) were programmed as analog sensors. The buzzer and the alarms were programmed with delays that respond to the RTC. The outputs were programmed with relays for the fan.

Wireless communication between the agents is carried out through an IoT scheme, for which several tests were carried out through the IP of the Raspberry and ESP32 (Microcontroller ESP-WROOM-02/02D module) modules that are connected to the flame, gas, temperature, touch and fan sensors. After

conducting the wireless BSP (Board Support Package) tests, a charging circuit was designed for the ESPs and the boards were designed for each of the agents.

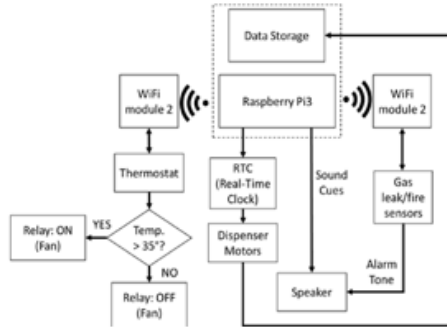


Fig. 3. Functional diagram of the developed system.

### B. Software development

The main properties governing the agents' behavior and used to monitor and regulate the system status during the simulations are listed in TABLE I. The actual values of the probabilities that dictate the behavior of the agents (including the user) depend on the particular scenario employed in a simulation and related to a user type of mental engagement w.r.t. their environment. Thus, we have defined three main scenarios to perform the simulations reported in this work: *poor-engagement* (low probabilities that the user will proactively or reactively interact with an agent); *adequate-engagement* (probabilities in the medium range); and *excessive-engagement* (high probabilities).

TABLE I. AGENT PROPERTIES: PROBABILITIES AND LEVELS

Behavior Probabilities	
Property name	Description
user.touch_agent_j	Probability of interacting with agent,
user.react_agent_j	Probability of reacting to agent,
agent_j.activate	Probability of agent, performing a task
Engagement & Autonomy Properties	
Property name	Description
user.level	User level of engagement (1 to 3)
agent_j.level	Agent level of autonomy (1 to 3)

During a particular simulation, representing one day in the life of the user, each of the agents is invoked a number of times (for instance, the agent related to the pill dispenser may be activated twice or thrice per day, depending on the frequency with which a user should receive their medication). When invoked, an agent will activate the corresponding device, and then the user may react to that stimulus. Furthermore, during the day, the user may proactively activate a particular device. Since the user can interact with only one device at a time, this behavior is modeled using Roulette Wheel selection.

All of the user interaction is recorded and converted into a single index of user interaction:  $x$ , which becomes the universe

of discourse for fuzzy membership functions that were designed to capture the engagement of the user with respect to the different types of agents.

The fuzzy membership functions w.r.t. different types of agents: autonomous, semi-autonomous and non-autonomous are shown in Fig. 4 to Fig. 6, respectively. The vertical lines (labelled  $a_1$  to  $a_7$ ) indicate the limits on the universe of discourse (user interaction) used to define the functions. For instance, the function relating user interaction to engagement w.r.t. a semi-autonomous agent (Fig. 5) is given by:

$$\mu_{adeq}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_2 \\ \frac{x-a_2}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x < a_3 \\ 1, & a_3 \leq x < a_5 \\ \frac{a_6-x}{a_6-a_5}, & a_5 \leq x < a_6 \\ 0, & x > a_7 \end{cases} \quad (1)$$

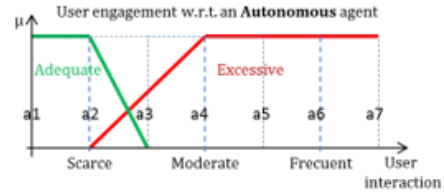


Fig. 4. Membership function w.r.t. autonomous agent

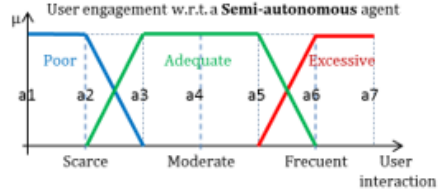


Fig. 5. Membership function w.r.t. semi-autonomous agent

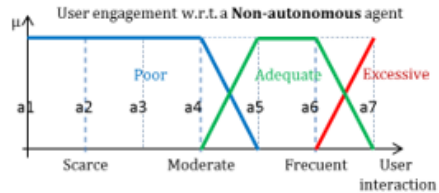


Fig. 6. Membership function w.r.t. non-autonomous agent

Using the engagement levels w.r.t. each of the different agents in the system, next we compute a global engagement level of the user, using the following matrix of size  $[3 \times \alpha]$ :

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,n} \\ r_{3,1} & r_{3,2} & \dots & r_{3,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

where the rows correspond to different user engagement levels

(1.-Poor, 2.-Adequate, 3.-Excessive) and the columns represent different agents (and with different autonomy levels).

In this work we included only  $n=4$  agents to simplify the analysis of the system, corresponding to the devices described in subsection III-A: 1.-Alarm, 2.-Pill dispenser, 3.-Lights, 4.-Fan. Thus, for instance  $r_{1,2}$  captures the degree in which the user shows “poor-engagement” w.r.t. agent 2: “Pill dispenser”, which is a semi-autonomous agent.

To compute the global engagement  $E$ , of the user we use:

$$E = R\mathbf{w} \quad (3)$$

where  $\mathbf{w}$  is a vector of size  $[n \times 1]$  that constitute the relative importance that we assign to each of the individual per-agent measures. In this work  $\mathbf{w} = [0.3, 0.25, 0.25, 0.2]$ , indicating that we give more importance to the user engagement w.r.t. agent: Alarm than w.r.t. other agents. This is because the Alarm is a device devoted to ensuring the Security of the user, which we consider more important than to guaranteeing the user’s comfort, or even their health. TABLE II shows the way in which the agents prioritize aspects in a user’s life, the agents’ autonomy levels and the weights assigned to them. Notice that the sum of the weights adds up to one.

TABLE II. AGENT PRIORITY AND AUTONOMY LEVEL

Agent	Security	Health	Comfort	Autonomy	$\mathbf{w}$
Fan	Low	Low	High	Low:1	0.2
Lights	Moderate	Moderate	High	Semi:2	0.25
Pill Disp.	Moderate	High	Low	Semi:2	0.25
Alarm	High	High	Low	Full:3	0.3

Through application of (3), the user’s engagement global levels are obtained and the level with the highest value is assigned as the user’s engagement level for the day:  $E^*$  (where 1: Poor, 2: Adequate, 3: Excessive). Then, to finalize the simulation of that particular day, the following system regulation rules are applied:

```

IF  $E^*$  is “Poor”:
    Set:  $\delta \leftarrow (b_{bw} < 1)$ ,
    IF ANY semi-autonomous agent  $j$ .level is NOT 3:
        Set: agent  $j$ .level  $\leftarrow 3$ 
ELSE IF  $E^*$  is “Adequate”:
    Set:  $\delta \leftarrow 1$ ,
    IF ANY semi-autonomous agent  $j$ .level is NOT 2:
        Set: agent  $j$ .level  $\leftarrow 2$ 
ELSE IF  $E^*$  is “Excessive”:
    Set:  $\delta \leftarrow (b_{high} > 1)$ ,
    IF ANY semi-autonomous agent  $j$ .level is NOT 1:
        Set: agent  $j$ .level  $\leftarrow 1$ 
FOR  $j = 1$  to  $n$ :
    Update user.touch and user.react probabilities:
    user.touch_agent  $j \leftarrow$  user.touch_agent  $j \times \delta$ 
    user.react_agent  $j \leftarrow$  user.react_agent  $j \times \delta$ 

```

The objective of the regulation rules is to model in our simulations how the system may induce a change of the user’s engagement with respect to their environment. Specifically, the

change in the semi-autonomous agents’ “level” (i.e. autonomy level) property, translates into a change in the agents’ behavior: increasing the autonomy level causes the agent’s interface outputs (lights and sounds) to be more stimulating and the agents may decide to emit non-actionable notifications (emit a chime or turn a light on) just to stimulate the user’s mental engagement; decreasing the autonomy level has the opposite effect. Particularities of these degrees of interaction were detailed in subsection III-A. The degree, to which the system is assumed to affect the user’s mental engagement, either to increase it or decrease it, is modeled through the multiplicative factors  $b_{bw}$  and  $b_{high}$ , respectively. Particular values of these parameters define the simulation scenarios that are described in Section IV, as the results of our simulations are reported.

This concludes the description of our system’s software development for the simulation of one day in the life of the user. Naturally, observable effects are only expected to occur through a period of several days. For this reason, a period of 30 days is simulated, constituting a trial run. Full details and results of these simulations are described in the next section.

#### IV. RESULTS AND DISCUSSION

In this section we present the results of our simulations for the system developed. In the previous section, the methodology to simulate a single iteration (one day in the life of the user) was described in detail. By repeating this performing more iterations continuously, a longer period of time can be simulated, which is necessary to observe the effects of the system. In this work we consider a period of 30 days, accounting for about one month in the life of the user. Of course, the effective computer time required to run the simulation only takes a few seconds. Now we report on the parameters required to execute the simulations.

The initial configuration of the properties belonging to the user is reported in TABLE III for three different engagement levels. The objective of the system is to modify its behavior in such a way that the user’s properties reach and maintain adequate levels, independently of their initial configuration. Clearly, the initial values given in TABLE III are exaggerated, this is done purposefully, so that our simulations commence from evidently different values.

TABLE III. INITIAL CONFIGURATION OF USER PROPERTIES

Probability of proactive interaction			
Property	Poor	Adequate	Excessive
user.touch_Fan	0.02	0.5	1
user.touch_Lights	0.02	0.5	1
user.touch_PillDisp	0.02	0.5	1
user.touch_Alarm	0.02	0.5	1
Probability of reaction to device			
Property	Poor	Adequate	Excessive
user.react_Fan	0.05	0.7	1
user.react_Lights	0.05	0.7	1
user.react_PillDisp	0.05	0.7	1
user.react_Alarm	0.12	0.9	1



The second set of parameters that controls the outcome of the simulations is related to the values of  $b_{low}$  and  $b_{high}$  that go into the system regulation rules. For our simulations we have defined two different setups, shown in TABLE IV. In contrast with the user's properties, these parameters are not probabilities, but multiplicative factors, so they are not limited to the range  $[0, 1]$ . Parameter  $b_{low} < 1$  is used to model the way in which the user's engagement decreases over time due to the system adapting its behavior, while  $b_{high} > 1$  is used to model the opposite effect. In Setup A, by making  $b_{high} \gg 1$  and  $b_{low} \approx 1$  we simulate a scenario in which the user's engagement can be easily increased; while in Setup B, with  $b_{high} \approx 1$  and  $b_{low} \ll 1$ , we simulate a scenario where the engagement of the user can drop easily.

TABLE IV. SYSTEM REGULATION PARAMETERS

Parameter	Setup A	Setup B
$b_{low}$	0.9	0.5
$b_{high}$	2.5	1.1

By combining the three initial conditions in TABLE III with the two setups in TABLE IV, a total of six simulation scenarios are obtained. For each of these six scenarios, a total of 100 simulation runs were executed, so that the statistical performance of the system could be observed. The results (average values and half the standard deviation over the 100 runs) are shown in Fig. 7 to Fig. 9.

The results for the scenarios that simulate poor levels of user engagement are shown in Fig. 7. Three curves are shown per plot: the user engagement level (blue long-dashed line), the agent autonomy level (purple short-dashed line) and the rank value  $E^*$  used to obtain the user engagement level through (3). It can be observed that the initial engagement level of the user is located around the value of 1 (indicating Poor engagement), while the autonomy level of semi-autonomous agents is initially 2 (their default value).

Two sets of plots are shown, corresponding to Setup A and Setup B. In the plots for Setup A, as time moves forward, the agents' autonomy levels move up, indicating that the system becomes more stimulating in trying to increase the user's mental engagement. Because of the values of  $b_{low} = 0.9$  and  $b_{high} = 2.5$ , the user is modeled as being highly responsive to the system's stimuli and the engagement level rise quickly. As the user's engagement reaches adequate levels (around 2 in approximately 8 days), the autonomy of the agents return to their default configuration and the system remains in that way for the rest of the simulation.

With Setup B all the initial conditions are exactly the same as for Setup A, but with parameters  $b_{low} = 0.5$  and  $b_{high} = 1.1$ , the user is modeled as being weakly responsive to the system's stimuli. Although the agents' autonomy levels (and thus their behavior) are adjusted as quickly as for Setup A, in this case the user's engagement changes quite slowly, so that by the end of the simulation (after 30 days) his/her mental engagement has not yet reached adequate levels.

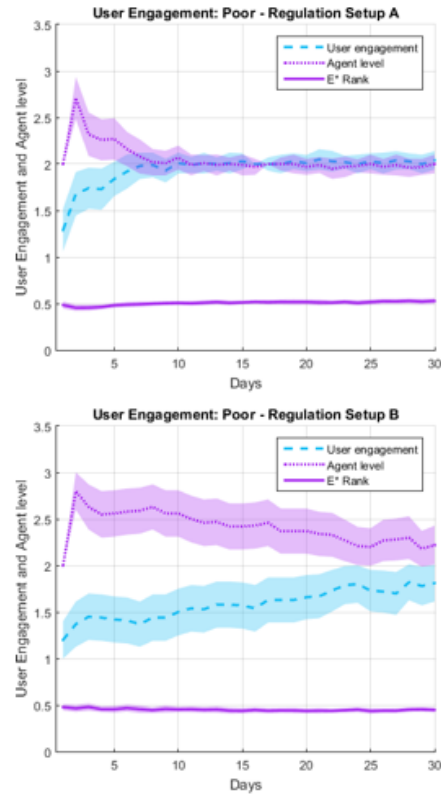


Fig. 7. Simulation results for scenarios of poor user engagement.

Furthermore, for Setup B the variability of the results, indicated by the shaded region around the curves, is larger than for Setup A. This shows the struggle between the system and a user whose engagement tends to drop easily.

The results for the scenarios that simulate a adequate levels of user engagement are shown in Fig. 8. Notice that the initial configuration actually makes the engagement level slightly higher than optimal and the system adjusts the autonomy level of the agents so that their behavior is less stimulating to the user. For Setup A, the user's engagement can be easily increased and hardly decreased, so the system struggles and only after about 20 days the mental engagement of the user reaches an optimal level. For Setup B, which models the case of a user whose engagement tends to drop easily, the adjustment of the system is much more effective and the engagement level drops quickly, so that in about 5 days has reached an optimum level and remains so for the rest of the simulation. The very small variation around the curves indicates that the regulation mechanism is very efficient and the system is in tune with the response of the user.

The results for the scenarios that simulate excessive levels of user engagement are shown in Fig. 9. In this case, the initial value of the user engagement is set to 3 and the system adjusts the behavior of the agents so that they become less stimulating to the user. As explained previously, Setup A models a user that tends to increase his/her engagement easily and, even though

the agents assume the lowest autonomy level to discourage the user's unnecessary interaction, it takes the system about 15 days to regulate this engagement and reach adequate levels (value of 2). The agents slowly return to their default behavior (semi-autonomous) and the system remains stable for the rest of the simulation. Setup B simulates a user with a tendency to decrease his/her engagement which results in a very quick response to the regulation effect of the system.

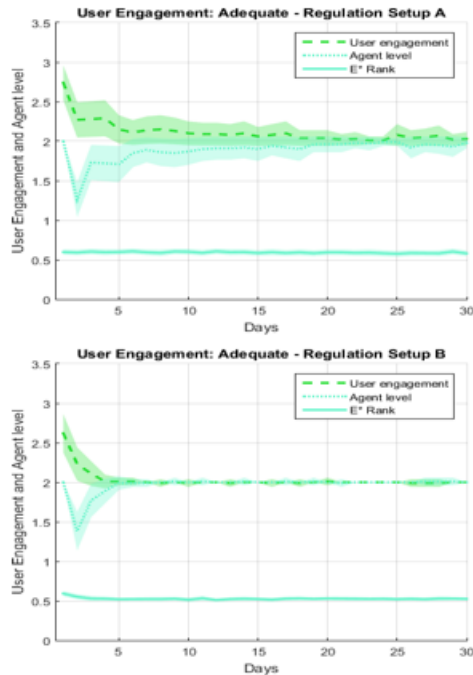


Fig. 8. Simulation results for scenarios of adequate user engagement.

Finally, it is important to examine the plots for the rank value  $E^*$  and notice that in all the simulated scenarios (except briefly at the beginning of the simulations in Fig. 9) this value remains practically constant. We interpret this result as indicative that the system is well modulated, and is able to identify the global engagement level of the user successfully.

Many of the systems developed specifically to act in the area of intelligent environments are programmed to serve in the home, in the office or any room in a basic way. The systems that are summarized in this document mostly serve the elderly, helping them with their day to day in any of the rooms mentioned above (in most cases the proposed care is carried out in the person's home). On the other hand, these systems are more focused on comfort and energy saving, which limits the system in the medical part. The comfort of vulnerable people (such as the elderly) is just as important as their health.

There are systems that can not only be used at home, but everywhere; which work as assistants who understand your needs through natural language processing. These systems are

devices like: Alexa, Google Home, Cortana, etc. The aforementioned devices work only through the operating system in which they are connected or through the system in which they were programmed; in some cases, these devices have been intertwined with other systems creating physically automated assistants. As mentioned, these devices are very useful, but they would be even more useful if they could be intertwined with physical systems so that they can help people with little mobility.

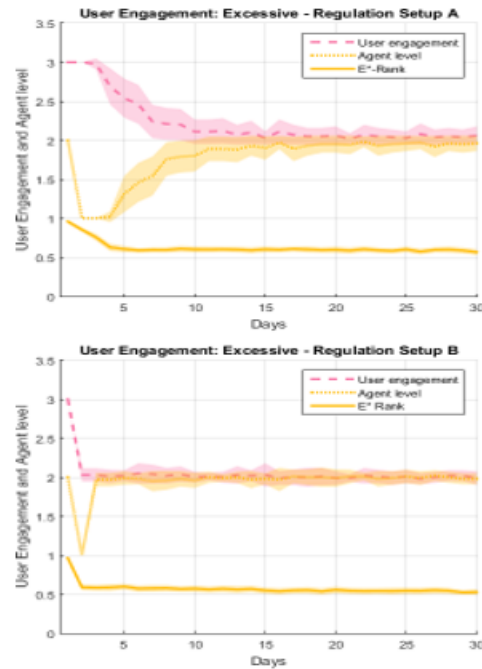


Fig. 9. Simulation results for scenarios of excessive user engagement.

One way to communicate many monitoring systems, security, comfort, etc., is through NetWorks (networks) or IoT (internet of things) creating multi-systems. In most of the articles mentioned in the Internet of Things and Networks area of this document, you can see how all devices communicate wirelessly to automate a system, providing convenience to the user. The biggest limitation that these systems have is that they depend on their connectors, they depend on the actuators and the devices connected to them to be able to create a system.

## VI. CONCLUSION AND FUTURE WORK

The results reported in the previous section were obtained by simulation of the described assistance device. Naturally, these results correspond to the early stages of development of a system. Through these simulations it was possible to confirm that the multi-agent system is performing as desired and that it achieves the designed goal for a number of diverse scenarios. This conclusion encourages us to proceed with the next stage of development, where real data will be collected employing the prototype of the system described herein.



## REFERENCES

- [1] Domènech-Abella, J., Murodó, J., Hao, J.M. and Rubio-Valera, M., 2019. Anxiety, depression, loneliness and social network in the elderly: Longitudinal associations from The Irish Longitudinal Study on Aging (TILDA). *Journal of affective disorders*, 246, pp.82-88.
- [2] Vink, D., Aartsen, M.J. and Schoevers, R.A., 2008. Risk factors for anxiety and depression in the elderly: a review. *Journal of affective disorders*, 108(1-2), pp.29-44.
- [3] Bunce, D., Batterham, P.J., Mackimmon, A.J. and Christensen, H., 2012. Depression, anxiety and cognition in community-dwelling adults aged 70 years and over. *J. of psychiatric research*, 46(12), pp.1662-1666.
- [4] Van der Weele, G.M., Gussekloo, J., De Waal, M.W., De Craen, A.J. and Van der Mast, R.C., 2009. Co-occurrence of depression and anxiety in elderly subjects aged 90 years and its relationship with functional status, quality of life and mortality. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 24(6), pp.595-601.
- [5] Pantell, M., Rehkopf, D., Jutte, D., Syme, S.L., Balmes, J. and Adler, N., 2013. Social isolation: a predictor of mortality comparable to traditional clinical risk factors. *Am. J. of public health*, 103(11), pp.2056-2062.
- [6] Rico-Urbe, L.A., et al., 2016. Loneliness, social networks, and health: a cross-sectional study in three countries. *PLoS one*, 11(1), p.e0145264.
- [7] Steptoe, A., Shankar, A., Demakakos, P. and Wardle, J., 2013. Social isolation, loneliness, and all-cause mortality in older men and women. *Proc. of the National Academy of Sciences*, 110(15), pp.5797-5801.
- [8] Farmanzi, M., et al., A negative association between social support and depression in the elderly population of Arak City. *J. of Advances in Medicine and Medical Research*, pp.707-716. 2015.
- [9] Le Roux, M.C. and Kemp, R., 2009. Effect of a companion dog on depression and anxiety levels of elderly residents in a long-term care facility. *Psychogeriatrics*, 9(1), pp.23-26.
- [10] Olsen, C., et al., 2019. Engagement in elderly persons with dementia attending animal-assisted group activity. *Dementia*, 18(1), pp.245-261.
- [11] Lipschitz, et al., 2019. Adoption of mobile apps for depression and anxiety: cross-sectional survey study on patient interest and barriers to engagement. *JMIR mental health*, 6(1), p.e11334.
- [12] Casaccia, S., et al., 2018, June. Health@ Home: pilot cases and preliminary results: Integrated residential sensor network to promote the active aging of real users. In 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, pp. 1-6. IEEE.
- [13] Gu, H., Diao, Y., Liu, W. and Zhang, X., 2011, August. The design of smart home platform based on cloud computing. In Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (Vol. 3, pp. 3919-3922). IEEE.
- [14] Cabrera, J., Mena, M., Parra, A. and Finos, E., 2016, November. Intelligent assistant to control home power network. In 2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) pp. 1-6. IEEE.
- [15] Longo, M., Roscia, M.C. and Zaninelli, D., 2015, June. Netzero energy of smart house design. In 2015 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP) pp. 548-554. IEEE.
- [16] Pham, C., Lim, Y. and Tan, Y., 2018, May. A platform for integrating alexa voice service into echonet-based smart homes. In 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW) pp. 1-5. IEEE.
- [17] Panwar, A., Singh, A., Kumawat, R., Jaidka, S. and Gang, K., 2017, July. Eyrie smart home automation using Internet of Things. In 2017 Computing Conference (pp. 1368-1370). IEEE.
- [18] Rajalakshmi, A. and Sahnasser, H., 2017, September. Internet of Things using Node-Red and alexa. In 2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT) (pp. 1-4).
- [19] Kepuska, V. and Bohouta, G., 2018, January. Next-generation of virtual personal assistants (microsoft cortana, apple siri, amazon alexa and google home). In 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (pp. 99-103).
- [20] Qela, B. and Mouffah, H.T., 2012. Observe, learn, and adapt (OLA)—An algorithm for energy management in smart homes using wireless sensors and artificial intelligence. *IEEE transactions on smart grid*, 3(4), pp.2262-2272.
- [21] Duong, T.V., Phung, D.Q., Bui, H.H. and Venkatesh, S., 2005, December. Efficient Coxian duration modelling for activity recognition in smart environments with the hidden semi-Markov model. In 2005 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (pp. 277-282). IEEE.
- [22] Zhong, D., Ji, W., Liu, Y., Han, J. and Li, S., 2011, December. An improved routing algorithm of ZigBee wireless sensor network for smart home system. In The 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (pp. 346-350). IEEE.
- [23] Tsou, Y.P., Hsieh, J.W., Lin, C.T. and Chen, C.Y., 2006, October. Building a remote supervisory control network system for smart home applications. In 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (Vol. 3, pp. 1826-1830). IEEE.
- [24] Zhang, L., Leung, H. and Chan, K.C., 2008. Information fusion based smart home control system and its application. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(3), pp.1157-1165.
- [25] Madden, S.R., Franklin, M.J., Hellerstein, J.M. and Hong, W., 2005. TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 30(1), pp.122-173.
- [26] Mueller, R., Alonso, G. and Kossman, D., 2007. SwissQM: Next generation data processing in sensor networks. In CIDR 2007, Third Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, Asilomar, CA, USA, January 7-10, 2007, Online Proceedings. CIDR..
- [27] Casas, R., et al., 2008, July. User modelling in ambient intelligence for elderly and disabled people. In International Conference on Computers for Handicapped Persons (pp. 114-122). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [28] Agreda, J.A. and González, E., 2014, September. Ambient intelligence based multi-agent system for attend elderly people. In 2014 9th Computing Colombian Conference (9CCC) (pp. 115-120). IEEE.
- [29] Gaddam, A., Mukhopadhyay, S.C. and Gupta, G.S., 2011, May. Trial & experimentation of a smart home monitoring system for elderly. In 2011 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (pp. 1-6). IEEE.
- [30] Gaddam, A., Mukhopadhyay, S.C. and Gupta, G.S., 2010. Elder care based on cognitive sensor network. *IEEE Sensors Journal*, 11(3), pp.574-581..
- [31] Stefanov, D.H., Bien, Z. and Bang, W.C., 2004. The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 12(2), pp.228-250.
- [32] Fortino, G., Guernieri, A., O'Hare, G.M. and Ruzzelli, A., 2012. A flexible building management framework based on wireless sensor and actuator networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(6), pp.1934-1952.
- [33] Rodríguez, S., et al., 2015. Multi-agent information fusion system to manage data from a WSN in a residential home. *Inf. Fusion*, 23, 43-57.
- [34] Serrani, P., Claudi, A., Palazzo, L., Dolcini, G. and Dragoni, A.F., 2013, December. Home Care Expert Systems for Ambient Assisted Living: A Multi-Agent Approach In AgeingAI@AI\*IA.
- [35] Shakhshuki, E.M. and Reid, M., 2015, January. Multi-agent system applications in healthcare: current technology and future roadmap. In ANTSEIT (pp. 252-261).
- [36] Mostafa, S.A., Damjan, R., Khalefeh, S.H., Mustapha, A., Abdullah, N. and Hafit, H., 2018, June. A general framework for formulating adjustable autonomy of multi-agent systems by fuzzy logic. In KES International Symposium on Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications (pp. 23-33). Springer, Cham.
- [37] Doctor, F., Hagas, H. and Callaghan, V., 2004. A fuzzy embedded agent-based approach for realizing ambient intelligence in intelligent inhabited environments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 35(1), pp.55-65.
- [38] Mostafa, S.A., Gunasekaran, S.S., Mustapha, A., Mohammed, M.A. and Abdullah, W.M., 2019, July. Modelling an Adjustable Autonomous Multi-agent Internet of Things System for Elderly Smart Home. In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 301-311). Springer, Cham.
- [39] Moise, M.V., Svasta, P.M. and Mazas, A.G., 2020, May. Programmable IoT Pills Dispenser. In 2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE) (pp. 1-4). IEEE.
- [40] Vial, P.J., Sansom, J., Stirling, D., Pemasathu, P. and Ros, M., 2018. A Dual Canister Medicine IoT Dispenser. In Information Technology-New Generations (pp. 167-173). Springer, Cham.

