

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



UCSC

Diseño de sistema basado en reglas para la asignación de servicios en una casa inteligente

Fernando Javier Romero Torres

Informe de Habilitación Profesional para optar al título de:
Ingeniero Civil Eléctrico

Profesor Guía:

Dra. Silvia E. Restrepo M.

Profesores Comisión:

Dr. Samuel A. Vergara R.

Dr. Ricardo A. Bustos P.

Concepción, Septiembre de 2023

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
Facultad de Ingeniería
Departamento de Medio Ambiente y Energía

Profesor Patrocinante:
Dra. Silvia E. Restrepo M.

Diseño de sistema basado en reglas para la asignación de servicios en una casa inteligente

Fernando Javier Romero Torres

Informe de Habilitación Profesional
para optar al Título de

Ingeniero Civil Eléctrico

Septiembre, 2023

Resumen

En el presente proyecto se desarrolla un sistema basado en reglas para una casa inteligente, que será el encargado de entregar distintos tipos de servicios (iluminación, climatización, seguridad y confort doméstico) según las preferencias del usuario de la vivienda. Al implementar estos servicios se busca solucionar el uso indiscriminado de energía y hacer más fáciles diversas tareas diarias en el hogar a las personas. Para esto se crean distintas reglas las cuales se encargan de ejecutar acciones que entreguen dichos servicios cuando las condiciones del entorno de la vivienda lo ameriten. Dichas reglas estarán en el entorno de CLIPS y se ejecutarán o aplicarán a los hechos iniciales en el entorno de Python.

Con el fin de comprobar si las reglas planteadas son capaces de entregar los servicios en la casa inteligente, se plantean distintos escenarios para las condiciones del entorno de la vivienda y se les aplican las reglas implementadas en el sistema. Para facilitar la visualización y análisis de dichos resultados se crea un interfaz en el ambiente de Python que está compuesta con una sección que muestra como son los hechos del entorno antes de ser aplicadas dichas reglas y otra sección en donde se aprecian los hechos resultantes.

También es posible ingresar nuevos hechos (nuevos escenarios) al sistema. Para este proceso se crea una interfaz, mediante la cual se ingresan los nuevos valores de las distintas variables al sistema y aplicar las reglas del sistema a estos nuevos hechos iniciales.

Agradecimientos

Quiero expresar mis agradecimientos a mis padres, por su respaldo, sacrificio y apoyo en esta etapa universitaria. Este éxito es tan suyo como mío.

A mi pareja, por su apoyo, amor y paciencia. Gracias por tu comprensión y palabras de ánimo que me han ayudado a continuar en estos años universitarios.

También quiero dedicar un espacio para agradecerle a mi abuelo José Fernando, para darle las gracias por su constante orgullo y apoyo hacia mis logros en esta trayectoria universitaria.

Mencionar también mis agradecimientos al proyecto ANID Programa FONDECYT 11221231 por el financiamiento de este trabajo.

Finalmente expresar mis más sinceros agradecimientos a mis profesores a lo largo de esta carrera universitaria, y de manera especial a mi profesora guía Silvia Restrepo, por su guía, paciencia y enseñanza a lo largo de esta investigación.

Tabla de Contenidos

LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
ABREVIACIONES	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	10
1.2. TRABAJOS PREVIOS	11
1.2.1 <i>Revisión Bibliográfica</i>	11
1.2.2 <i>Discusión</i>	16
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	17
1.4. OBJETIVOS	18
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	18
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	18
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	18
1.6. METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	19
2.1. SISTEMA BASADO EN REGLAS	19
2.1.1 <i>Arquitectura</i>	19
2.1.2 <i>Reglas y estrategias de control e inferencia</i>	21
2.2. APLICACIONES DE UN SISTEMA BASADO EN REGLAS	23
2.2.1 <i>Salud</i>	23
2.2.2 <i>Diseño y Planificación</i>	24
2.2.3 <i>Monitoreo y Control</i>	24
2.2.4 <i>Clasificación</i>	24
2.3. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SISTEMAS BASADOS EN REGLAS	24
2.3.1 <i>CLIPS</i>	24
2.3.2 <i>Python (clipsy)</i>	26
2.3.3 <i>Prolog (SWI-Prolog)</i>	26
2.3.4 <i>Java (Jess)</i>	26
2.4. MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS	27
2.4.1 <i>Heurísticas</i>	27
2.4.2 <i>MAS (Multi-Agent System)</i>	28
2.5. SENSORES	29
2.5.1 <i>Sensores de presencia</i>	29
2.5.2 <i>Sensores de temperatura y humedad</i>	30
2.5.3 <i>Sensores de luminosidad</i>	31
2.5.4 <i>Reloj</i>	32
2.6. SERVICIOS EN UNA CASA INTELIGENTE	32
2.6.1 <i>Control ambiental del hogar</i>	33
2.6.2 <i>Seguridad</i>	36
2.6.3 <i>Ahorro Económico</i>	36
2.6.4 <i>Confort Doméstico</i>	36
CAPÍTULO 3. COMPONENTES PRINCIPALES PARA EL SISTEMA BASADO EN REGLAS	37
3.1. ESTRUCTURA DE LA CASA INTELIGENTE	37
3.2. SENSORES Y ACTUADORES	38
3.2.1 <i>Sensores</i>	38
3.2.2 <i>Actuadores</i>	39
3.3. REGLAS DE LA CASA INTELIGENTE	41
3.3.1 <i>Iluminación</i>	41
3.3.2 <i>Climatización</i>	42

3.3.3	<i>Seguridad</i>	44
3.3.4	<i>Confort doméstico</i>	45
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE REGLAS PARA UNA CASA INTELIGENTE.....		46
4.1.	ESTRUCTURA DEL SISTEMA.....	48
4.2.	IMPLEMENTACIÓN DE REGLAS EN CLIPS.....	49
4.2.1	<i>Consideraciones</i>	50
4.2.2	<i>Funcionamiento en interfaz de CLIPS</i>	52
4.3.	INTEGRACIÓN DE SISTEMA EN PYTHON	54
4.3.1	<i>Crear templates</i>	55
4.3.2	<i>Hechos iniciales</i>	56
4.3.3	<i>Slots</i>	57
4.3.4	<i>Aplicar reglas</i>	57
4.3.5	<i>Interfaz</i>	58
4.3.6	<i>Nuevos hechos iniciales</i>	59
4.4.	RESULTADOS	60
4.4.1	<i>Escenario 1</i>	61
4.4.2	<i>Escenario 2</i>	64
4.4.3	<i>Escenario 3</i>	66
4.5.	CASOS POSIBLES	70
4.5.1	<i>Iluminación</i>	70
4.5.2	<i>Climatización</i>	71
4.5.3	<i>Seguridad</i>	72
4.5.4	<i>Confort Doméstico</i>	73
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES		74
5.1.	CONCLUSIONES.....	74
5.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....		76

Lista de Tablas

TABLA 2.1 Rango de temperatura y humedad para confort térmico	35
TABLA 3.1 Reglas de la iluminación	41
TABLA 3.2 Reglas del aire acondicionado (encendido)	43
TABLA 3.3 Reglas del aire acondicionado (apagado)	43
TABLA 3.4 Reglas para la humedad relativa (encendido)	44
TABLA 3.5 Reglas para la humedad relativa (apagado)	44
TABLA 3.6 Reglas de seguridad	45
TABLA 3.7 Reglas de confort doméstico	45
TABLA 4.1 Casos posibles para la iluminación	70
TABLA 4.2 Casos posibles para la climatización (temperatura ambiente)	71
TABLA 4.3 Casos posibles para la climatización (humedad relativa)	71
TABLA 4.4 Casos posibles para la seguridad.....	72
TABLA 4.5 Casos posibles para el confort doméstico	73

Lista de Figuras

Fig. 2.1 Arquitectura de un sistema experto basado en reglas	19
Fig. 2.2 Regla Modus Ponens.....	21
Fig. 2.3 Regla Modus Tollens	22
Fig. 2.4 Encadenamiento hacia adelante	22
Fig. 2.5 Encadenamiento hacia atrás	23
Fig. 2.6 Interfaz de CLIPS	25
Fig. 2.7 Taxonomía de los métodos heurísticos	28
Fig. 2.8 Representación de un sistema multi-agente	29
Fig. 2.9 Sensor de presencia pasivo	30
Fig. 2.10 Sensor de temperatura y humedad	31
Fig. 2.11 Sensor de luminosidad	32
Fig. 2.12 Módulo reloj de tiempo real DS3231.....	32
Fig. 2.13 Servicios de una casa inteligente	33
Fig. 2.14 Esquema de control de iluminación	34
Fig. 2.15 Esquema de control de climatización	35
Fig. 3.1 Estructura de la vivienda.....	37
Fig. 3.2 Sensores de la vivienda.....	39
Fig. 3.3 Actuadores de la vivienda.....	40
Fig. 4.1 Integración de los entornos	47
Fig. 4.2 Proceso del sistema basado en reglas creado	48
Fig. 4.3 Hechos iniciales en Interfaz de CLIPS	53
Fig. 4.4 Hechos finales en la interfaz de CLIPS	54
Fig. 4.5 Interfaz de hechos del entorno de la casa.....	59
Fig. 4.6 Interfaz para ingresar nuevos hechos iniciales.....	60
Fig. 4.7 Resultados del escenario 1	63
Fig. 4.8 Resultados del escenario 2	65
Fig. 4.9 Nuevos hechos iniciales	68
Fig. 4.10 Resultados del escenario 3	69

Abreviaciones

Mayúsculas

JESS	: Java Expert System Shell.
CLIPS	: C Language Integrated Production System.
MAS	: Multy-agent Systems.
IDAE	: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
GSM	: Global System for Mobile Communications.
ENDESA	: Empresa Nacional de Electricidad S.A.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción General

Un ambiente inteligente es un espacio en el cual se utiliza tecnología con el fin de acercar el mundo de la computación o informática a lo cotidiano. Para esto son necesarios distintos tipos de sensores, los cuales son los encargados de entregar la información de lo que sucede en el entorno al sistema y así llevar a cabo un proceso el cual intente entregar algún servicio en específico.

A medida que avanzan los años, los ambientes inteligentes se están haciendo cada vez más presentes, donde se busca automatizar los distintos servicios que se presentan en la vida diaria para que su uso sea más cómodo para las personas.

Una manera de crear un ambiente inteligente es usando un sistema basado en reglas, el cual, a partir de un conjunto de reglas impuestas, puede resolver problemas o entregar un servicio sin que el usuario deba hacerlo de forma manual.

Dentro de un ambiente inteligente y un sistema basado en reglas, hay términos clave cuyo significado es esencial comprender. Los hechos iniciales son una parte fundamental de un sistema basado en reglas, estos hechos son los estados de los distintos dispositivos presentes en la casa y de la información captada por los sensores. Las reglas son las encargadas de ejecutar alguna acción si es que se cumplen un conjunto de condiciones del entorno de la casa definidas. Un ambiente inteligente (una casa inteligente en este caso) es capaz de entregar diversos tipos de servicios, que se refiere a acciones que se realizan de forma remota sin la intervención manual del usuario. Por ejemplo, el control del encendido y apagado de la iluminación.

Un ambiente inteligente es capaz de entregar diversos tipos de servicios, los cuales deben ser analizados en cuanto al uso que se le dará. Por ejemplo, usarlos solo cuando se presente una situación en la que los usuarios necesiten de dichos servicios.

Por todo lo dicho anteriormente, lo que se busca en este proyecto es diseñar un sistema basado en reglas que pueda utilizar los servicios de un ambiente inteligente solo cuando las condiciones lo ameriten, en este caso específico, el ambiente será una casa inteligente. Los problemas que más se buscarán abordar es el uso indiscriminado de energía y el simplificar diversas tareas diarias en el hogar.

Este trabajo se enmarca en el proyecto con la casa inteligente perteneciente al Laboratorio de Redes y Sistemas Inteligentes (LabRedSis) de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC), el cual es parte del proyecto ANID Programa FONDECYT 11221231.

1.2. Trabajos Previos

1.2.1 Revisión Bibliográfica

[1] Grosan, C., Abraham, A. “Rule-Based Expert Systems. In: Intelligent Systems”. Intelligent Systems Reference Library, vol 17. Springer, Berlin, Heidelberg,2011.

Este documento explica lo que son los sistemas expertos basado en reglas desde lo más conceptual como es su estructura hasta los distintos elementos que poseen este tipo de sistemas, por ejemplo, los hechos iniciales, las condiciones de las distintas reglas a implementar y las consecuencias de dichas reglas.

[2] Díez, J. J. “Sistemas Inteligentes T6: Sistemas Basados en Reglas”. Oviedo: Universidad de Oviedo,2010.

Se explica la estructura, el funcionamiento y el razonamiento de un sistema basado en reglas, entrega ejemplos de cómo es su razonamiento y su funcionalidad. También, explica su encadenamiento aplicado en un software.

[3] Cabrera, L. V. “Sistemas Basados en Reglas”. Sevilla: Universidad de Sevilla,2010-2011.

Se da una explicación desde lo que es una regla en los Sistemas Basados en Reglas y cómo se compone un sistema basado en reglas, de igual manera se presentan ejemplo de estos sistemas.

[4] Gil Vera, Víctor & Montoya Suarez, Lina & Henao, Gabriel. “Sistema experto para el diagnóstico del Cáncer de Próstata”,2017.

El cáncer a la próstata es una de las enfermedades que más afecta a los hombres, por lo que este proyecto presenta un sistema experto que pueda diagnosticar la posible aparición de este tipo de cáncer y así prevenir la enfermedad.

[5] S. Puspitaningsih, Suryono and Farikhin, "Design and Implementation of an Emergency Pregnancy Referral System Using Rule-Based Expert System Forward Chaining Method,"

2021 Sixth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), pp. 1-5,2021.

En el embarazo hay muchas enfermedades o trastornos que se pueden presentar y llevar a un embarazo de emergencia, por lo que este proyecto diseñó e implementó un sistema experto basado en reglas de Encadenamiento Hacia Adelante de modo de identificar y clasificar los síntomas que puedan dar un indicio que el embarazo puede estar en peligro.

[6] Harold A. Ch., “Sistema Experto para el Diagnóstico de Enfermedades Respiratorias en el Hospital Central de la policía Nacional Del Perú Luis N. Sáenz”, Memoria de Título, Ingeniero de Sistemas y Computo, Septiembre 2017, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Computo y Telecomunicaciones, Universidad Inca Garcilaso de la Vega.

El objetivo de este proyecto es crear un sistema experto para el diagnóstico de enfermedades respiratorias, de modo que al ser implementado este sistema se facilita el diagnóstico de cada paciente, así el proceso de clasificación sea más fluido y eficaz.

[7] Moya-Rodríguez, Jorge Laureano, Becerra-Ferreiro, Ana María, & Chagoyén-Méndez, César A. “Utilización de Sistemas Basados en Reglas y en Casos para diseñar transmisiones por tornillo sinfín”,2012.

En este informe se realiza una comparación entre un sistema basado en reglas y un sistema basado en casos para el diseño de una transmisión por tornillo sinfín, dando como conclusión que si se tiene una gran cantidad de base de casos para un caso en específico el sistema basado en casos es más efectivo y seguro que el sistema basado en reglas.

[8] D. M. Minhas, J. Meiers and G. Frey, "A Rule-based Expert System for Home Power Management Incorporating Real-Life Data Sets," 2022 3rd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE), pp. 1-6,2022.

Este proyecto consiste en crear un sistema experto, capaz de administrar la energía de una vivienda en presencia de sistemas fotovoltaicos y vehículos eléctricos, así optimizar el sistema para que los costos sean lo más bajo posible.

- [9] X. Wu, "*Application of rule-based expert system in ATC simulator evaluation system*", 2020 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS), pp. 226-229, 2020.

En este proyecto se busca diseñar un sistema experto basado en reglas, el cual se implementaría en un simulador de Control de Tráfico Aéreo (ATC), con el fin de prestar apoyo para familiarizarse mejor con el sistema a los instructores de los ATC, ya que así se podía disminuir la intensidad del trabajo que realizan.

- [10] T. Ledeneva and A. Reshetnikov, "*Expert System for Assessing the Indoor Climate*," 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), pp. 711-714, 2021.

En este informe se propone el desarrollo de un sistema experto para evaluar la comodidad con relación al clima en una habitación en específico, para esto se utiliza un sistema difuso y una base de conocimiento con un conjunto de reglas.

- [11] Chao Li, Lijun Suna, Xiangpei Hua, "*A context-aware lighting control system for smart meeting rooms*", Systems Engineering Procedia, Volume 4, Pages 314-323, ISSN 2211-3819, 2012.

Este informe está enfocado en la iluminación de una sala de reuniones, para ello se diseñó un sistema capaz de controlar el nivel de luminiscencia en la habitación de forma que no sea necesario hacerlo de forma manual y, así, interrumpir las reuniones que se vayan a efectuar en ese lugar.

- [12] Daniel Escobar Flores, "*Sistema Experto de Recomendación de Cervezas*", Memoria de Título, Ingeniero Civil en Telecomunicaciones, Enero 2018, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería, Universidad de Concepción.

En este informe se desarrolla un sistema experto capaz de recomendar un tipo de cerveza en específico al usuario dependiendo de los gustos que él ingrese al sistema y así dar como resultado una cerveza que más se asemeje a lo que desea.

- [13] C. Mavropoulos y Ping-Tsai Chung, *"A rule-based Expert System: Speakeasy - Smart Drink Dispenser"*, IEEE Long Island Systems, Applications and Technology (LISAT) Conference 2014, pp. 1-6, 2014.

Se desarrolló un sistema experto que tiene como nombre "Speakeasy Expert System (SES)", dicho sistema consiste en crear un dispensador de bebidas inteligentes para entregar al usuario la más adecuada a lo que quiere en dicho momento.

- [22] Díaz López, Ernesto, Martínez Prieto, Adrián, & Gálvez Lio, Daniel. Una implementación de la meta-heurística *"Optimización en Mallas Variables"* en la arquitectura CUDA. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 10(3), 42-56, 2016.

En este informe se explica el método heurístico y los procedimientos meta-heurísticos, los cuales tienen diversas clasificaciones mencionadas en el documento. Este tipo de método se aplicó para la optimización en mallas variables.

- [23] Cortés, P. Delgado, M. Muñuzur, J. Onieva, L. *"Una revisión sobre los sistemas multi-agente en la ingeniería de Organización"*, in XII Congreso de Ingeniería de Organización, Burgos, España, 2008.

Se explica que son los MAS (Multy-agent Systems) desde lo conceptual, también se habla de donde son aplicable este tipo de optimización y se da ejemplos de cómo es la aplicación en diversas áreas como por ejemplo el transporte.

- [24] David Vallejo Fernández, *"MASYRO: Un sistema multi-agente para la optimización del renderizado"*, Memoria de Titulo, Ingeniería en Informática, Septiembre 2006, Departamento de Informática, Universidad de Castilla – La Mancha Escuela Superior de Informática.

En este informe se aplica una arquitectura multi-agente con base en sistema de reglas difusas, todo esto para que el proceso llamado Render el cual consiste en obtener una imagen a partir de una

escena tridimensional sea ejecutado de la manera más optima posible con respecto a su tiempo total del proceso.

[25] Cruz, C. Cordero, J. López, J. “*Casa Inteligente*”, Seminario de Titulación, Administración de Proyectos, Febrero 2009, Instituto Politécnico Nacional.

En este informe se describe una casa inteligente y los distintos servicios que puede llegar a entregar a una persona, también las bases que se requieren para el diseño de una casa inteligente, la cual se busca diseñar en México.

[26] Blancheth, A. “*Casa Inteligente*”, Memoria de Título, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Noviembre 2013, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

En este informe se estudia el concepto de casa inteligente con base en las tecnologías ya desarrolladas, así intentar reducir los costos que conlleva el diseño e implementación de una casa inteligente para que este tipo de tecnología este más al alcance de las personas.

[27] Rodrigo A. de Marcos, “Sistema Domótico para una casa inteligente”, Memoria de Título, Ingeniero Industrial, Mayo 2013, Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

En esta memoria de título se busca implementar un sistema domótico en una casa inteligente la cual abarca lo referente a servicios de iluminación, climatización y de ocio. Todo el sistema tiene implementado sus respectivos sensores y actuadores para su correcto funcionamiento.

[28] Martha M. Carvajal A., Ana I. Ramos I., “Diseño e Implementación de un sistema de Control y Seguridad en tiempo real de una vivienda inteligente”, Memoria de Título, Ingeniero en Electrónica y Computación, 2010, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

En esta memoria de título se busca diseñar un sistema de control y seguridad en una vivienda inteligente, implementarlo y darle uso en tiempo real. Para esto se utilizan diferentes sensores y controlares con el fin de abarcar de manera correcta la seguridad de una casa.

[29] Santiago Lima C., Kevin M. Meneses G., “Sistema de alarma para vivienda unifamiliar gestionada telemáticamente”, Memoria de Título, Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, 2017, Universidad de La Laguna.

En esta memoria de título se diseñó un sistema de alarma para una casa, la cual es controlada por GSM (Global System for Mobile Communications) módem donde se utilizaron diversos tipos de dispositivos como por ejemplo sensores, reloj de tiempo real, microcontrolador, entre otros.

[30] IDAE, “Bienestar térmico en un espacio climatizado,” [En línea]. Available: <https://www.idae.es/index.php/articulos/bienestar-termico-en-un-espacio-climatizado>. [Último acceso: Septiembre 2022].

En este trabajo se realizó un estudio sobre el bienestar térmico ideal para una vivienda climatizada, específicamente se busca un rango de temperatura (para verano y para invierno) en grados Celsius (y humedad relativa en el ambiente) con un equilibrio entre la temperatura más confortante para las personas y también el ahorro energético para no consumir mucha energía con un sistema de aire acondicionado.

1.2.2 Discusión

Con respecto a los sistemas basados en reglas, en cuanto a lo conceptual en [1] solo se explica un concepto básico de lo que es en si este tipo de sistemas por lo que es el menos completo en comparación a [2] y [3]. La diferencia que hay entre los 2 textos recién mencionados es que en el caso de [2] está más enfocada y detallada la estructura de los sistemas basados en reglas y su módulo de inferencia. En cambio, en [3] está más detallado lo que son las distintas reglas pertenecientes a este tipo de sistemas y estrategias de control e inferencia.

En cuanto a las aplicaciones para los sistemas basados en reglas, en el tema de la salud, al comparar los trabajos ([4], [5] y [6]), se logra apreciar que, al aplicar un sistema basado en reglas, lo que se busca es que con base en ciertos síntomas que presente un paciente, llegar a una conclusión que, en este caso, sería el posible diagnóstico que presenta en cierta enfermedad.

Para el caso del diseño y planificación, las aplicaciones que se le dieron en [7], [8] y [9] buscan encontrar la mayor eficiencia posible del proceso, ya sea optimizar y reducir el trabajo de una persona como sucede en [9] o lograr un menor costo en un hogar al implementar tecnologías como los sistemas fotovoltaicos y los vehículos eléctricos en [8].

Referente al monitoreo y control, lo que tienen en común [10] y [11], es que ambas buscan la implementación del sistema para evitar gestionar, ya sea el clima o la iluminación dentro de una habitación de manera manual y así realizarlo de manera óptima.

En cuanto a la clasificación en [12] y [13], busca ayudar al usuario a encontrar la bebida con o sin alcohol que se adecue lo más posible a los gustos que se le ingrese al sistema.

Para los MAS (Multi-Agent System), en [23] su enfoque es en lo conceptual de este tipo de sistema y los distintos tipos de optimización donde se puedan aplicar lo cual es relevante para entender los MAS y conocer las áreas donde se puede o se han utilizado este tipo de sistema. En [24] se habla en forma detallada de una parte fundamental dentro del sistema multi-agente que son los agentes, sus características y su clasificación.

Para los servicios de una casa inteligente, si bien en [25] y [26] informan acerca de los servicios que posee una casa inteligente, en el caso de [26] se enfocan en intentar optimizar lo más posible el sistema en cuanto a su costo para que así puedan estar al alcance de una persona promedio.

En cuanto a los proyectos relacionados a un tipo de sistema para una vivienda inteligente, la diferencia que hay entre [27], [28] y [29] es el área o el conjunto de servicios en que están enfocados. Por ejemplo, en [27] se enfoca en la iluminación, climatización y lo relacionado al ocio de la casa, en [28] se enfoca en controlar la seguridad de la vivienda en tiempo real y en [29] si bien un sistema de alarma igual está relacionado con el área de seguridad, lo que lo diferencia es que la manera de controlar el sistema mediante GSM módem.

En lo relacionado al confort térmico, en [30] se busca encontrar un rango de temperatura ideal, y su estudio se enfoca en encontrar rangos de temperatura y de humedad relativa ideales para verano e invierno.

1.3. Hipótesis de Trabajo

El uso de un sistema basado en reglas permite mejorar el mal uso de energía y las tareas diarias de un hogar, mediante el control y automatización de distintos tipos de servicios que pueda entregar una casa inteligente.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Crear e implementar en una simulación, un sistema basado en reglas para la asignación de servicios en una casa inteligente y resolver el uso indiscriminado de energía.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar sobre sistemas basados en reglas y los tipos de servicios de una casa inteligente.
- Identificar los distintos tipos de sensores que logren detectar las diferentes variables existentes dentro de una casa inteligente.
- Diseñar un sistema basado en reglas el cual permita asignar los servicios de una casa inteligente.
- Implementar el sistema basado en reglas diseñado en un software especializado.

1.5. Alcances y Limitaciones

El proyecto se centrará específicamente en una casa inteligente y su implementación se realizará a través de una simulación en un software. Para comprobar la funcionabilidad del sistema creado se plantearán escenarios sobre el estado de las variables y dispositivos del entorno de una casa.

1.6. Metodología

Se investigan diversos documentos con el fin de adquirir conocimiento con respecto a los sistemas basados en reglas, tanto su funcionamiento, razonamiento, estructura y aplicaciones.

También se indaga acerca de los servicios que pueda entregar un ambiente inteligente y, en este caso, los de una casa inteligente donde se centra el proyecto.

Luego, con base en los tipos de servicios de la casa inteligente que se incluirán en el sistema basado en reglas a plantear, se diseñan las distintas reglas que puedan cumplir con las preferencias que determine el usuario.

Después, se implementa dicho sistema mencionado anteriormente en un software de simulación para comprobar su funcionamiento.

Finalmente, se plantearán distintos escenarios del entorno de la casa y en ellos se aplica el sistema basado en reglas implementado en un software especializado.

Capítulo 2. Marco teórico y conceptual

2.1. Sistema basado en reglas

Un sistema basado en reglas (también conocido como sistema experto) es uno de los métodos más sencillos al momento de implementar un sistema inteligente. Consiste en un conjunto de reglas que representan el conocimiento que se codifica dentro de un sistema creado de este tipo, con el fin de imitar el razonamiento humano para la resolución de distintas situaciones o problemas [1].

2.1.1 Arquitectura

La función principal de un sistema basado en reglas es ofrecer soluciones para ciertos problemas o situaciones. Para que esto se lleve a cabo existe una arquitectura que es la siguiente [2]:

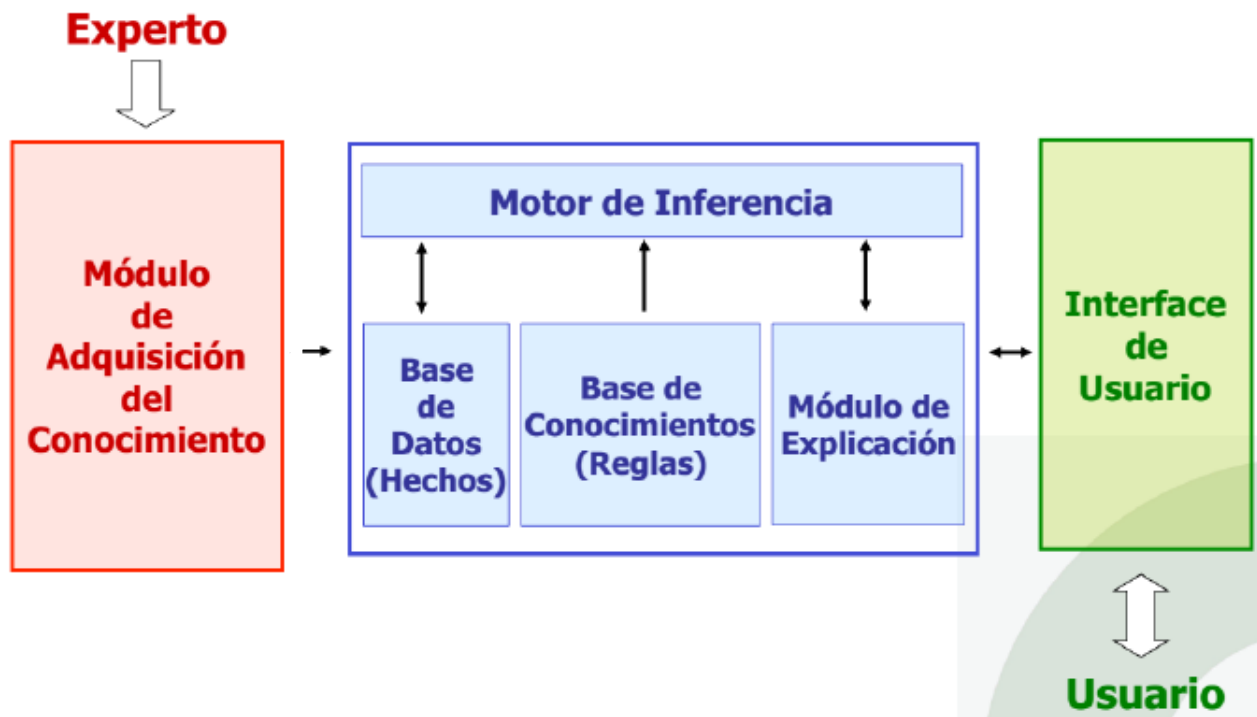


Fig. 2.1 Arquitectura de un sistema experto basado en reglas.

(Fuente: [2])

Los distintos componentes que se logran apreciar en la fig.2.1 son:

- **Experto**

Así es como se le llama a la persona que se encarga de interactuar con el sistema mediante la implementación de un conjunto de reglas de modo de transferirle conocimiento sobre ciertos problemas o situaciones.

- **Módulo de adquisición del conocimiento**

Es la interface por la cual el experto, mediante las reglas, ingresa conocimiento al sistema basado en reglas.

- **Motor de inferencia**

Es el encargado de generar conocimiento nuevo en base al ya ingresado por el experto mediante las reglas, para esto se realiza un procedimiento de razonamiento.

- **Base de datos**

Se refiere a los datos que se necesiten sobre una situación o problema en específico. Para esto existen dos tipos de datos o hechos los cuales pueden ser permanentes, es decir, se refiere a los que siempre se encuentran presentes en todo momento y los temporales que van variando, dependiendo de la situación o problema presente.

- **Base de conocimientos**

Es la forma en la que se almacena el conjunto de reglas de tal manera que bajo cierto antecedente se logre razonar una conclusión consecuente con base en los que ingresa el experto. Para este conocimiento (las reglas del sistema) se les puede asignar distintos niveles de prioridad de manera que con base en cierta aplicación el orden de las reglas sea de una manera óptima al ser aplicadas.

- **Módulo de explicación**

Este módulo es el encargado de generar los resultados obtenidos desde el motor de inferencia al aplicar las reglas en el sistema basado en reglas.

- **Usuario**

Es la persona que le da uso al sistema basado en reglas luego de todo el proceso de razonamiento.

- **Interface de usuario**

Es la parte del sistema con la cual el usuario interactúa.

2.1.2 Reglas y estrategias de control e inferencia

Para encontrar las soluciones a las diversas situaciones o problemas es necesario utilizar variadas reglas y estrategias del sistema basado en reglas, usadas por el motor de inferencia. En cuanto a las reglas de inferencia se suele utilizar las simples, que son las que llegan a una conclusión a partir de dos premisas (premisa es una idea o afirmación que se da como cierta con el fin de mediante razonamiento llegar a una conclusión). Existen dos tipos de reglas de inferencia simple [3]:

➤ **Modus Ponens**

Esta regla consiste en que, si una hipótesis se llega a cumplir, se infiere que la conclusión es cierta.

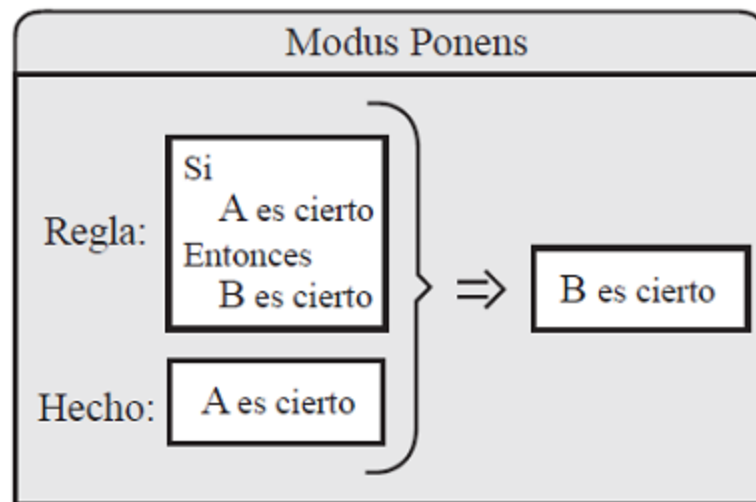


Fig. 2.2 Regla Modus Ponens.

(Fuente: [3])

➤ Modus Tollens

Esta regla, a diferencia del Modus Ponens que funciona a partir de una certeza, funciona desde una conclusión falsa y con base en eso se infiere que la hipótesis también es falsa.

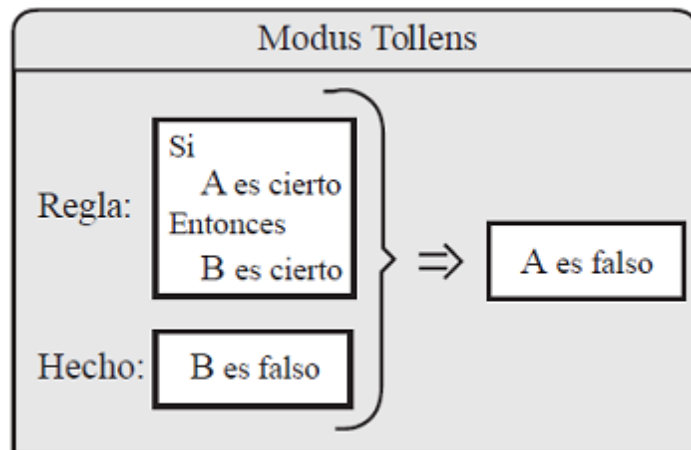


Fig. 2.3 Regla Modus Tollens.

(Fuente: [3])

En cuanto al razonamiento para los sistemas basados en reglas compuestos por un conjunto de las reglas recién mencionadas, se utilizan las siguientes estrategias:

➤ Encadenamiento hacia adelante

Este tipo de razonamiento se hace con base en los hechos iniciales que se presenten y las reglas implementadas al sistema por el experto, con el fin de llegar a una solución intermedia. El concepto de dicho razonamiento se logra apreciar en la fig. 2.4, donde BH (Base de Hechos) inicial significa la base de hechos y BR (Base de Reglas) es la base de reglas a incorporar en el sistema.

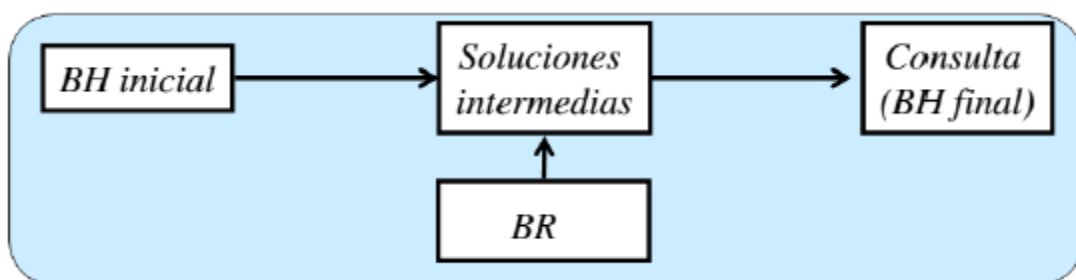


Fig. 2.4 Encadenamiento hacia adelante.

(Fuente: [2])

➤ **Encadenamiento hacia atrás**

Esta estrategia consiste en llegar a una conclusión para un objetivo en específico, por lo que se exploran todas las reglas en el sistema y se trata de llegar a una conclusión para dicho objetivo. Si no se llega a encontrar esta conclusión, se le solicitará al usuario que ingrese información adicional para lograrlo. Su funcionamiento se puede apreciar en la fig. 2.5.

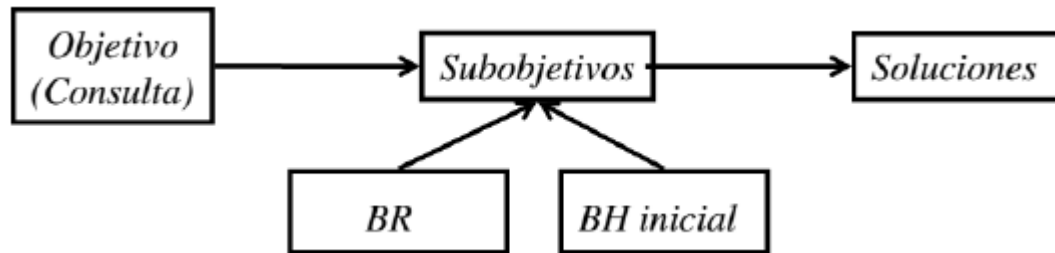


Fig. 2.5 Encadenamiento hacia atrás.

(Fuente: [2])

➤ **Resolución**

Esta estrategia consiste en cumplir varios pasos. Primero, las reglas del sistema se reemplazan por expresiones lógicas equivalentes. Luego, dichas expresiones se combinan para formar una nueva expresión lógica. Y, finalmente con esa nueva expresión lógica creada se llega a una solución.

➤ **Compilación de reglas**

Esta estrategia consiste en recopilar información con el fin de cumplir ciertos objetivos, por lo que las reglas que se encuentren en el sistema se compilan y escriben dichos objetivos en función de los datos que existan y así crear ecuaciones objetivo.

2.2. Aplicaciones de un sistema basado en reglas

Un sistema basado en reglas puede aplicarse en distintos campos, como por ejemplo la medicina, ingeniería, matemática, química, etcétera. En dichos campos las tareas en las que se pueden utilizar este tipo de sistemas son variadas, entre ellas están:

2.2.1 Salud

La salud es uno de los principales campos en los que se han utilizado los sistemas basados en reglas, como por ejemplo en 2011 para el diagnóstico del cáncer de próstata mediante un sistema experto [4]. También en 2021 para el diagnóstico de un embarazo de emergencia donde se diseñó e

implementó un sistema basado en reglas con encadenamiento hacia adelante [5]. Y en 2017 se diseñó un sistema experto para el diagnóstico de enfermedades respiratorias en Perú [6].

2.2.2 Diseño y Planificación

Al momento de diseñar o automatizar alguna tarea, un sistema basado en reglas es una herramienta útil que se ha utilizado anteriormente, como por ejemplo en 2012, para el diseño de transmisiones por un tornillo sinfín [7]; también, en 2022, para administrar la energía de un hogar [8] y, en 2020, para un sistema de evaluación del simulador ATC (Control de Tráfico Aéreo, en inglés) [9].

2.2.3 Monitoreo y Control

Una ventaja de los sistemas basados en reglas es que se le pueden implementar diversas reglas y prioridades con el fin de automatizar los procesos, como por ejemplo en 2021, se utilizó para evaluar el clima al interior de una casa [10]; otro caso, en 2012, se realizó el control de la iluminación sensible en una sala de reuniones inteligente [11].

2.2.4 Clasificación

Otra forma de utilizar un sistema basado en reglas es para la clasificación de cierto servicio o producto según las necesidades del usuario, como por ejemplo en 2018 se realizó un estudio para la recomendación de cervezas [12] y en 2014 para crear un dispensador inteligente de bebidas [13].

2.3. Herramientas de desarrollo de sistemas basados en reglas

Para la simulación de un sistema basado en reglas existen varias opciones que se pueden utilizar dependiendo de las necesidades de lo que se quiera implementar.

2.3.1 CLIPS

Este entorno de desarrollo, cuyas iniciales significan “C Language Integrated Production System”, consiste en un lenguaje de programación muy útil para la creación de sistemas expertos y otros programas donde una solución heurística es más sencilla para su aplicación y así mantener una solución algorítmica [18].

Para la creación de un sistema experto en CLIPS es necesario crear los hechos y las reglas de manera separada. Para los hechos existe un tipo de plantilla que permite implementar la estructura

para almacenarlos. Dicha plantilla se llama template y en ésta se almacenan los slots que correspondan a las distintas variables presentes en el sistema. La sintaxis de esta estructura es la siguiente:

```
(deftemplate Nombre-del-template
  (slot variable1)
  (slot variable2)
  (slot variable3)
  (slot variable4))
```

En cuanto a las reglas, están compuestas por las condiciones y las acciones por realizar si se cumplen dichas condiciones. Para la sección de las condiciones, se deben declarar dentro del template correspondiente en el que se encuentren almacenadas las variables, siendo así su sintaxis de la siguiente manera:

```
(defrule Nombre-de-la-regla
  (Nombre-del-template
    (variable1 valor-asignado)
    (variable2 valor-asignado))
  =>
  Acción-por-realizar)
```

También presentan una interfaz que es la que se puede apreciar en la fig. 2.6.

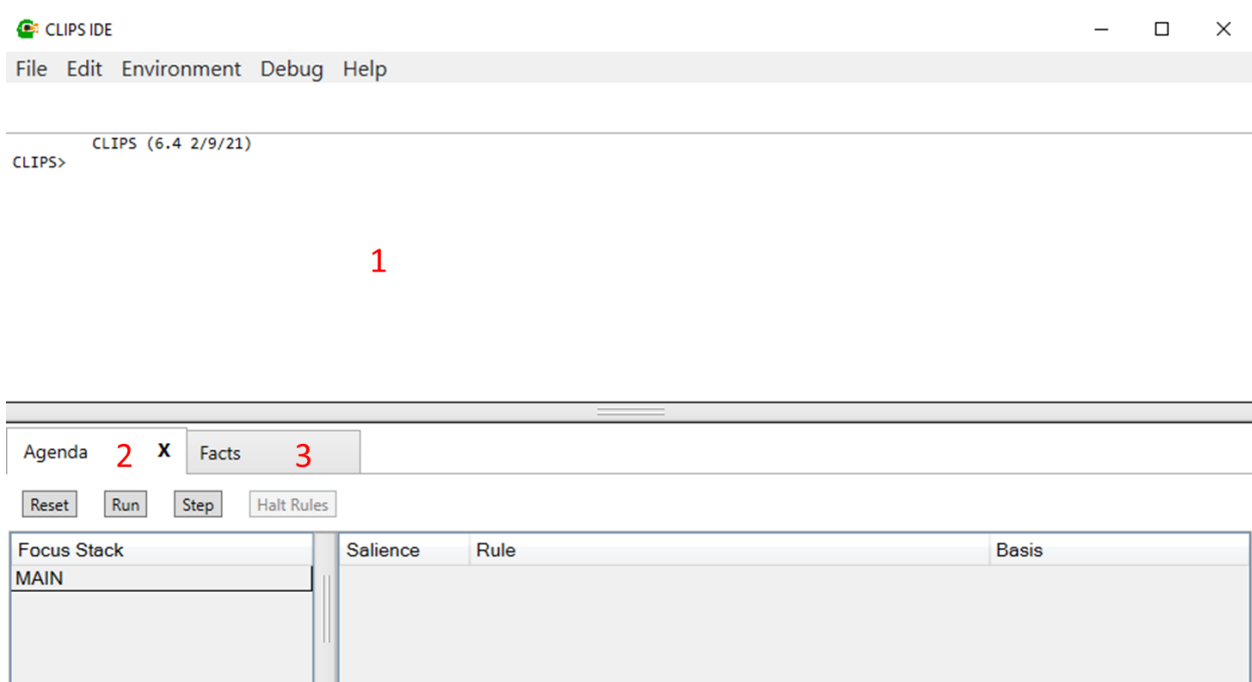


Fig. 2.6 Interfaz de CLIPS.

(Fuente: Elaboración propia [18])

Dentro del interfaz del programa se encuentran 3 principales apartados. El “1” corresponde a la ventana de dialogo, que se va registrando lo que se esté ejecutando en el software o los resultados luego de la simulación de un sistema con hechos y reglas.

El “2” señala lo que corresponde a la ventana de agenda, que es donde se registran todas las reglas que sean posibles de aplicar a los hechos presentes en el sistema.

En cuanto a “3” corresponde a la ventana de “facts” que en español es hechos, como su nombre lo menciona ahí es donde se almacenan todos los hechos que se implementan en el sistema a simular.

2.3.2 Python (clipsy)

Python es un lenguaje de programación que cuenta con una amplia funcionalidad y una gran cantidad de acceso a distintos paquetes para realizar diversas tareas. Este tipo de lenguaje es muy utilizado en distintos campos a través del mundo, por ejemplo, en aplicaciones web, operaciones automatizadas, entre otros [16]. Una librería que puede ser de bastante utilidad en este proyecto se llama “clipsy”, que permite enlazar y utilizar el entorno de CLIPS en el entorno de Python.

2.3.3 Prolog (SWI-Prolog)

Lo que diferencia a Prolog con el resto de los lenguajes de programación es que su funcionamiento es semejante a una base de datos y para calcular sus resultados lo hace en base a relaciones específicas para llegar a una conclusión. El proceso en que resuelve distintas situaciones mediante pruebas matemáticas luego de realizar preguntas a su base de datos. Puede implementarse en el software “SWI-Prolog” [17].

2.3.4 Java (Jess)

Es un lenguaje de programación para el cual existe una gran cantidad de aplicaciones y sitios web que lo utilizan.

Con respecto a los sistemas basados en reglas, existe una herramienta que permite trabajarlos en este lenguaje de programación y se llama “Jess” (Java Expert System Shell) el cual soporta los razonamientos hacia adelante y hacia atrás e interfaces directas de objetos de Java [19].

Si bien en las herramientas recién mencionadas es posible implementar un sistema basado en reglas, se descartó el uso de Jess debido a que hace varios años se le dejó de dar soporte. En cuanto a la elección entre CLIPS y SWI-Prolog, dada mi total ignorancia en ambos lenguajes de programación

(CLIPS y Prolog) elegí CLIPS porque parece ser más fácil de aprender y usar con respecto a Prolog, además de contar con una biblioteca reciente en Python, llamada “clipsy”.

2.4. Métodos de asignación de recursos

La asignación de recursos es un proceso fundamental en cualquier proyecto o empresa, ya que es crucial encontrar la mejor manera de administrar los recursos. Con el fin de optimizar de mejor manera el proceso es posible realizarse a través de varios métodos como, por ejemplo:

2.4.1 Heurísticas

Un método heurístico es un tipo de procedimiento que busca resolver un problema complejo de optimización con base en una aproximación intuitiva, a modo de reducir la cantidad de búsqueda requerida para encontrar la solución de un problema o situación determinado.

A través de los años ha ido en aumento el desarrollo de este tipo de procedimientos y a este conjunto de métodos se les ha denominado con el nombre de meta-heurística, Bajo este nombre hay diversos tipos los cuales se pueden apreciar en la fig. 2.7, como por ejemplo [22]:

➤ Meta-heurísticas de trayectoria simple

El proceso de búsqueda se caracteriza por tener una trayectoria en el espacio de soluciones, quiere decir que con base en una solución inicial se crea un camino o trayectoria de búsqueda a través de operaciones de movimiento. Entre este tipo de búsqueda se encuentran: Búsqueda Tabú, Recocido Simulado, entre otras.

➤ Meta-heurísticas poblacionales

Este tipo de procedimiento emplea un conjunto de soluciones en cada iteración de un determinado algoritmo, a diferencia de la trayectoria simple que solo utiliza una solución como base. La eficacia de este tipo de procedimientos depende mucho de cómo se manipule el conjunto de soluciones utilizados en el procedimiento. Entre este tipo de búsqueda se encuentran: Algoritmos Evolutivos, Colonia de Hormigas, entre otras.

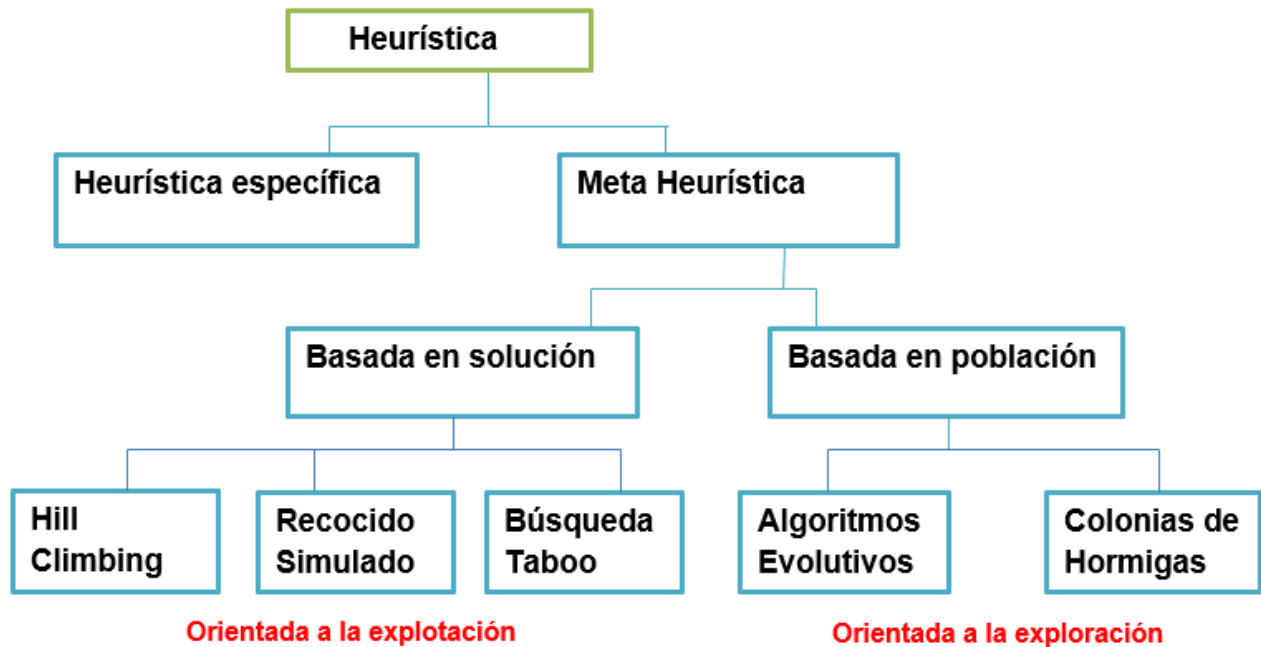


Fig. 2.7 Taxonomía de los métodos heurísticos.

(Fuente: Elaboración propia, basada en [22])

2.4.2 MAS (Multi-Agent System)

Un sistema multi-agente es un sistema compuesto por múltiples agentes inteligentes en donde existe una interacción para la consecución de un conjunto de tareas u objetivos a realizar.

El proceso por el cual este tipo de sistemas resuelven los problemas es dividirlos en subproblemas de una envergadura menor a la original y así asignarle uno o varios agentes que se encarguen de encontrarles una solución [23].

Un agente perteneciente a este tipo de sistemas tiene las siguientes características: habilidad social, proactividad, reactividad y autonomía. Estos agentes se pueden clasificar de dos formas: agentes reactivos y agentes cognitivos [24].

Los sistemas multi-agente son aplicables en una gran variedad de áreas, como por ejemplo robótica, sistemas de gestión, medicina, etcétera [23]. Una forma de representar un sistema multi-agente es como se muestra en la fig. 2.8:

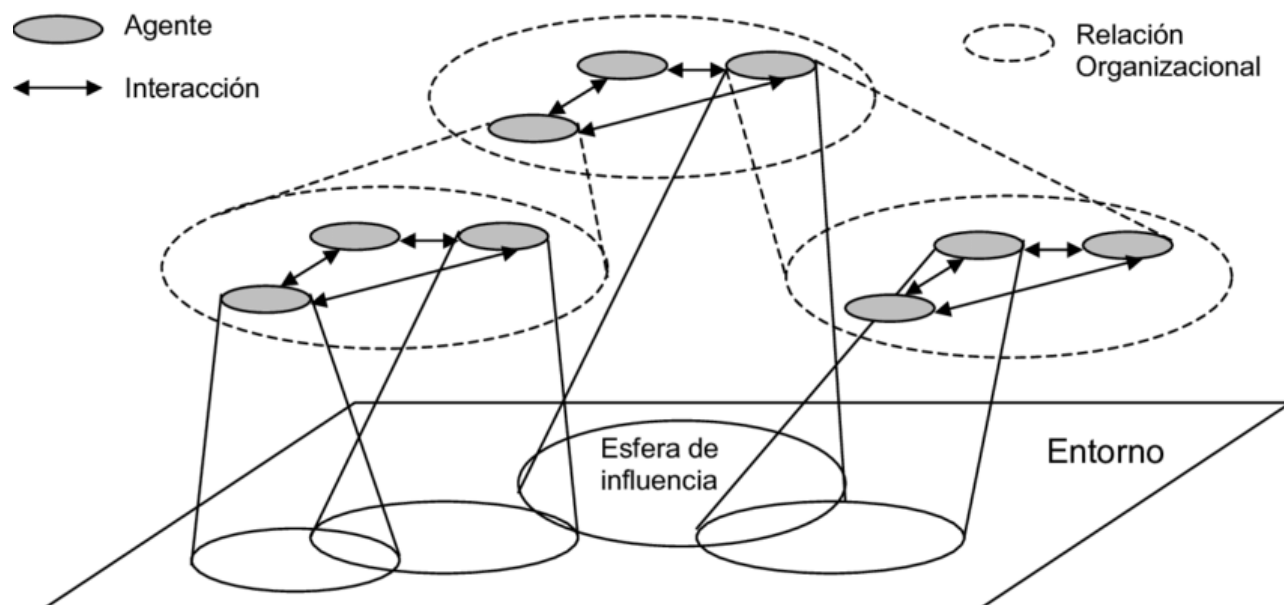


Fig. 2.8 Representación de un sistema multi-agente.

(Fuente: [24])

2.5. Sensores

Para el funcionamiento de un sistema basado en reglas son fundamentales las unidades de entrada, dentro de los cuales se encuentran los sensores que son los encargados de indicar cuáles son los hechos o acontecimientos que están ocurriendo en un ambiente inteligente en específico. La manera en la cual estos sensores envían la información al sistema es transformando la magnitud física que estén midiendo a una señal eléctrica. Para esto existen distintos tipos dependiendo de la variable que desee medir.

2.5.1 Sensores de presencia

Para medir la variable de presencia en un lugar determinado hay 2 tipos de sensores de presencia, ellos son:

➤ Sensores de presencia activos

Su funcionamiento es mediante la emisión de energía con la finalidad de detectar algún cambio a su alrededor, el cual se da, por lo general, cuando existe movimiento de un objeto. Para esto es capaz de emitir distintos tipos de onda como microondas, ondas de radio y ultrasónicas [27].

➤ Sensores de presencia pasivos

Su funcionamiento es mediante ondas infrarrojas con base en detectar un cuerpo con un calor distinto al que existe en el ambiente en el lugar donde este sensor se encuentre. Al notar la presencia de dicho cuerpo la radiación infrarroja captada por el sensor cambia y esto se traduce con un cambio de la carga que es posible medir [28].



Fig. 2.9 Sensor de presencia pasivo.

(Fuente: [29])

2.5.2 Sensores de temperatura y humedad

Para medir la temperatura y la humedad hay dos tipos de sensores que son los más adecuados para su uso en una vivienda inteligente [27]:

➤ Termopar

El termopar está compuesto por 2 conductores distintos, lo cuales al calentarse producen una diferencia de potencial. Tiene un gran rango en cuanto a las temperaturas en la que puede ser utilizado, pero su precisión no es tan alta.

➤ Termistor

Está compuesto por resistencias que son muy sensibles a la temperatura y su material consiste en cerámico o de un tipo de polímero. Dentro de los termistores hay 2 tipos que son directa e inversamente proporcionales a la temperatura. Su rango en cuanto a la temperatura es bastante menor si se le compara con el termopar. Un ejemplo de este tipo de sensor es el que se aprecia en la fig. 2.10.

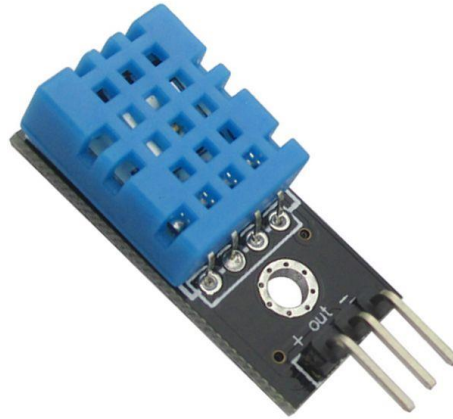


Fig. 2.10 Sensor de temperatura y humedad.

(Fuente: [29])

2.5.3 Sensores de luminosidad

Para medir la luminosidad en una vivienda inteligente hay 3 tipos de sensores que son los idóneos para su aplicación [27].

➤ **Fotodiodo**

Es un diodo sensible a la luz visible por el ojo humano y también a la luz infrarroja. En cuanto el diodo capte la luz incidente, el fotodiodo comienza a conducir una corriente proporcional a la intensidad de dicha luz.

➤ **Fototransistor**

Tal como el fotodiodo, este sensor igual es sensible a la luz visible y a la luz infrarroja. Su diferencia es que el fototransistor es más sensible que el fotodiodo, lo cual se debe a la ganancia que posee el transistor.

➤ **Fotorresistencia**

El funcionamiento que tiene este tipo de sensor es que reduce su resistencia dependiendo de la intensidad de la luz incidente que capte. Una desventaja en comparación con el fotodiodo y el fototransistor es que su respuesta es exponencial, por lo que es más difícil determinar la intensidad de la luz incidente. Un ejemplo de este tipo de sensor es el que se aprecia en la fig. 2.11.

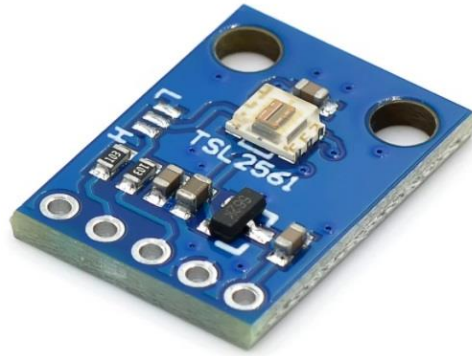


Fig. 2.11 Sensor de luminosidad.

(Fuente: [29])

2.5.4 Reloj

Otra de las unidades de entrada fundamental para este tipo de sistemas es el reloj, encargado de entregar la variable relacionada con el tiempo [30].

Para incorporar el reloj es posible hacerlo de 2 formas, una es de manera simulada mediante software o también mediante un módulo. Un ejemplo de módulo de reloj de tiempo real DS3231 se puede apreciar en la fig. 2.12, capaz de generar segundos, minutos, hora, día, fecha, mes e información del año y puede operar tanto en formato 24 horas como en formato 12 horas [29].

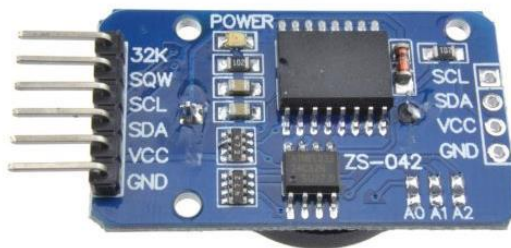


Fig. 2.12 Módulo reloj de tiempo real DS3231.

(Fuente: [29])

2.6. Servicios en una casa inteligente

Una casa inteligente es la que usando la tecnología ayuda a tener un mejor estilo de vida dado que automatiza varios trabajos que normalmente se deben realizar de manera manual. Este concepto en sí no es algo nuevo, pero recientemente se ha comenzado a implementar debido a que antes no estaba el nivel de tecnología y gestión que esto conlleva, dado que requiere un uso simultáneo de la

electricidad, la electrónica y la informática [25]. Una casa inteligente puede entregar una gran variedad de servicios como, por ejemplo: enchufes inteligentes, iluminación, climatización, sistemas de seguridad, entre otros como se puede apreciar en la fig. 2.13.



Fig. 2.13 Servicios de una casa inteligente.

(Fuente: [25])

Una de sus grandes ventajas es poder controlar ciertos aparatos y servicios de uso diario que estén dentro de una casa y entregar al usuario facilidades en varios aspectos como por ejemplo el control ambiental del hogar, seguridad, ahorro económico y confort doméstico [26]:

2.6.1 Control ambiental del hogar

El tema del control ambiental del hogar es algo que se puede regular al tener un sistema inteligente en un hogar. Para lograr esto es posible gestionar de manera inteligente varios servicios tales como la iluminación y la climatización [26]:

➤ Iluminación

Es posible gestionar el encendido y apagado de la iluminación de modo que solo se le de uso cuando sea totalmente necesario como cuando el nivel de luminosidad presente en el ambiente pase cierto umbral. También la activación de la iluminación puede ser con base en la presencia de una persona en cierta habitación mediante un sensor que lo pueda detectar, de modo que no quede

encendida cuando ya no hay personas dentro de dicha habitación [25]. La estructura mediante la cual se controla la iluminación es como se puede apreciar en la fig. 2.14.

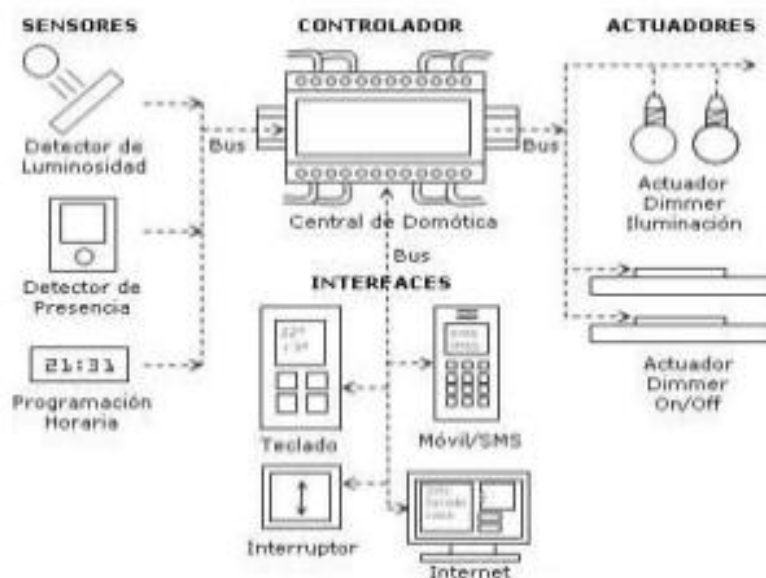


Fig. 2.14 Esquema de control de iluminación.

(Fuente: [25])

Una manera de determinar el nivel de la iluminación es a través de la unidad llamada Lux (Lx) derivada del Sistema Internacional de Unidades. La iluminación varía a lo largo del día sus niveles de Lux, algunos rangos de ejemplos en etapas del día con relación a una casa son [33]:

- Clima soleado al interior de la casa: entre 100 y 1000 [Lx]
- Clima nublado al interior de la casa: entre 5 y 50 [Lx]
- Clima nublado al exterior de la casa: entre 50 y 500 [Lx]
- Entrada la noche (Aproximadamente 10 PM): entre 0.02 y 0.3 [Lx]
- A media noche (12 PM): entre 0.001 y 0.02 [Lx]

➤ Sistema de climatización

Es el encargado de calentar, enfriar, controlar la humedad de la casa o habitación en específico, por lo que, para darle un uso óptimo, es posible determinar un cierto umbral de temperatura en el ambiente y que según dicha temperatura el aire acondicionado entre en el modo que lo requiera (enfriar y calentar). De igual manera un sensor de presencia ayuda a optimizarlo mejor, ya que lo que se desea es que se utilice solo al detectar presencia de alguna persona en dicha habitación [25]. La

estructura mediante la cual se controla el sistema de climatización es como se puede apreciar en la fig. 2.15.

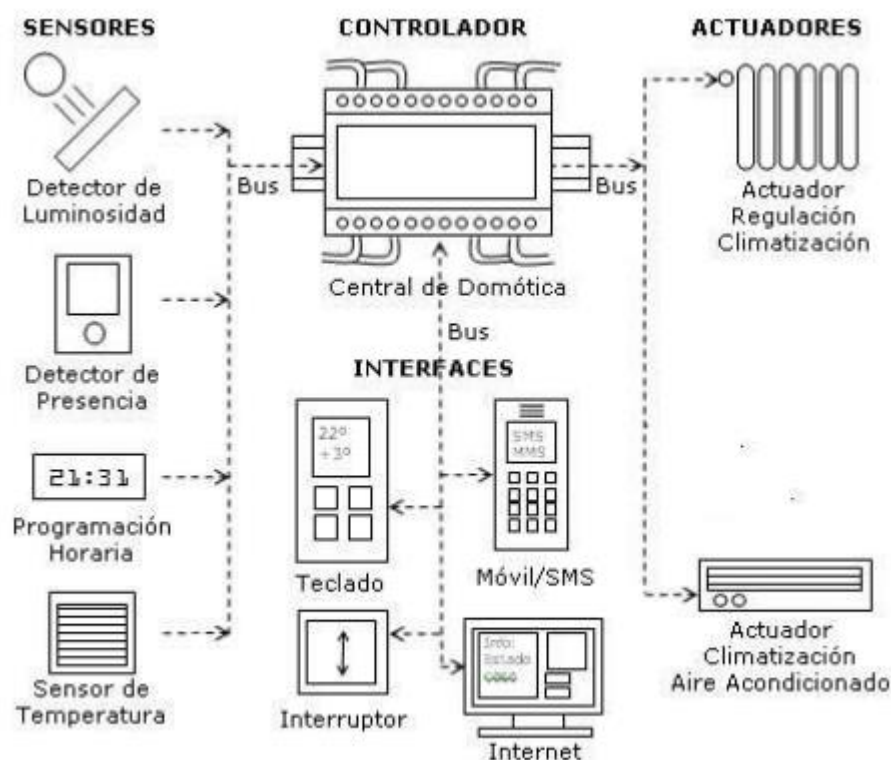


Fig. 2.15 Esquema de control de climatización.

(Fuente: [25])

Al momento de seleccionar la temperatura operativa de un aire acondicionado, es necesario ajustarlo de tal manera que dentro de la vivienda se logre tener confort térmico. Para esto en España la IDAE realizó una investigación con el fin de lograr establecer rangos de temperatura y humedad adecuados tanto en verano como en invierno, como se puede apreciar en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1 Rango de temperatura y humedad para confort térmico.

Estación	Temperatura operativa [°C]	Humedad relativa [%]
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

(Fuente: [31]).

También cabe recalcar que la temperatura no debe ser la misma durante las 24 horas, ya que

es recomendable que disminuya durante las noches en aproximadamente 4 o 5 grados Celsius [32]. Referente a la humedad relativa, los rangos de confort durante la noche se mantienen igual que los del día.

2.6.2 Seguridad

Tener el control de los diferentes accesos a una vivienda es un gran beneficio para los usuarios que posean una casa con este tipo de sistema, ya que es posible no realizar el abrir y cerrar de manera manual o de verificar si todos los accesos se encuentran cerrados al momento de que la o las personas vayan a abandonar la vivienda [26].

Otra aplicación, es el uso de sensores de presencia para cuando no hay nadie en la vivienda y se detecte la presencia de un intruso de manera que el dueño esté alertado de la situación mediante algún tipo de alarma [25].

2.6.3 Ahorro Económico

Al tener un sistema inteligente en la vivienda es posible disminuir y monitorear el consumo de los artefactos eléctricos de la casa, así tener un ahorro económico en cuanto al consumo de la electricidad [26].

2.6.4 Confort Doméstico

Otro aspecto que mejora al tener una casa inteligente es el facilitar el uso automático de distintos dispositivos presentes en el hogar que se suelen usar de forma manual, a esto se le puede llamar confort doméstico. Esto puede ser de gran ayuda en especial si en dicha vivienda existe alguna persona que presente alguna discapacidad debido a que se le harían más sencillas tareas diarias.

Capítulo 3. Componentes principales para el sistema basado en reglas

Se utilizó como referencia una casa compuesta por un baño, un dormitorio, una cocina y una sala de estar. En estas habitaciones se instalarán distintos sensores y actuadores para captar la información sobre las condiciones del hogar (en el caso de los sensores) y de ejecutar alguna acción específica para proporcionar un servicio (en el caso de los actuadores). Para configurar las acciones a realizar, se implementarán distintas reglas al sistema.

3.1. Estructura de la casa inteligente

Para la creación de las reglas se tomó en cuenta una casa que está conformada por 1 dormitorio, 1 baño, 1 cocina y 1 sala de estar tal como se aprecia en la fig. 3.1. La estructura planteada es una versión simplificada de la casa inteligente que se encuentra en el LabRedSis de la UCSC.

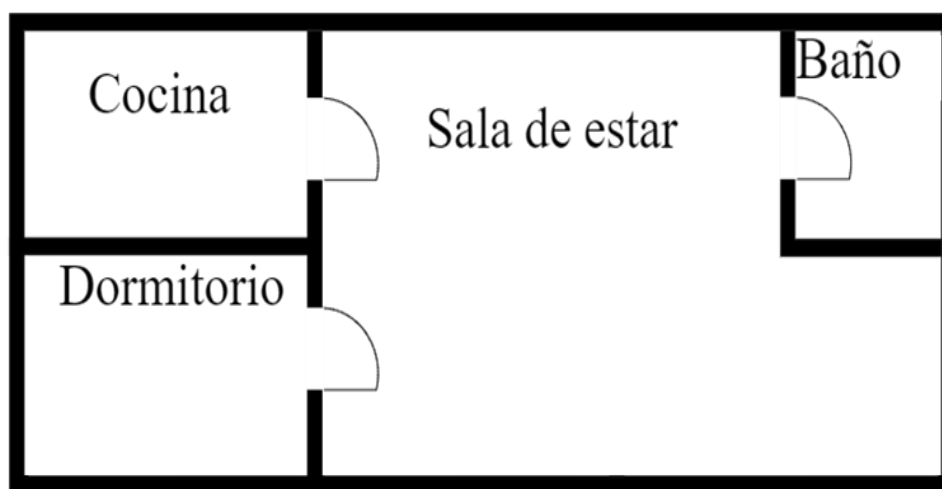


Fig. 3.1 Estructura de la vivienda.

(Fuente: Elaboración propia)

Las reglas están enfocadas en los servicios relacionados a:

- Iluminación: se controlará el encendido y apagado de la iluminación de las habitaciones.
- Climatización: se controlará la temperatura ambiente y la humedad relativa.
- Seguridad: se controlará la cerradura inteligente y la iluminación en caso de ausencia de personas.
- Confort doméstico: se controlará el estado (abierta/cerrada) de las persianas.

3.2. Sensores y Actuadores

Para realizar la recopilación de los hechos o estado del entorno de la vivienda es necesario tener distintos tipos de sensores. Para ejecutar las distintas acciones dependiendo de las reglas que se activen son necesarios los actuadores. La distribución de estos en la casa inteligente es la siguiente.

3.2.1 Sensores

Cada habitación necesita distintos tipos de sensores dependiendo de los servicios que se entreguen en cada una de las habitaciones. Los servicios que se controlan y los sensores presentes en cada habitación son los siguientes:

➤ Dormitorio

En el dormitorio se controlará lo relacionado con la iluminación, la climatización y el confort doméstico, por lo que los sensores necesarios para recopilar dicha información son: sensor de presencia, temperatura ambiente, humedad relativa y luminosidad.

➤ Sala de estar

En la sala de estar se controlará lo relacionado a la iluminación, la climatización, el confort doméstico y la seguridad, por lo que los sensores necesarios son: sensor de presencia, temperatura ambiente, humedad relativa y luminosidad.

➤ Cocina

En la cocina se controlará lo relacionado con la iluminación y la climatización (específicamente en función del porcentaje de humedad), por lo que los sensores necesarios son: sensor de presencia y humedad relativa.

➤ Baño

En el baño se controlará lo relacionado con la iluminación y la climatización (específicamente en función del porcentaje de humedad), por lo que los sensores necesarios son: sensor de presencia y humedad relativa.

Por lo tanto, la distribución de los sensores dentro de la casa inteligente puede verse en la fig. 3.2.

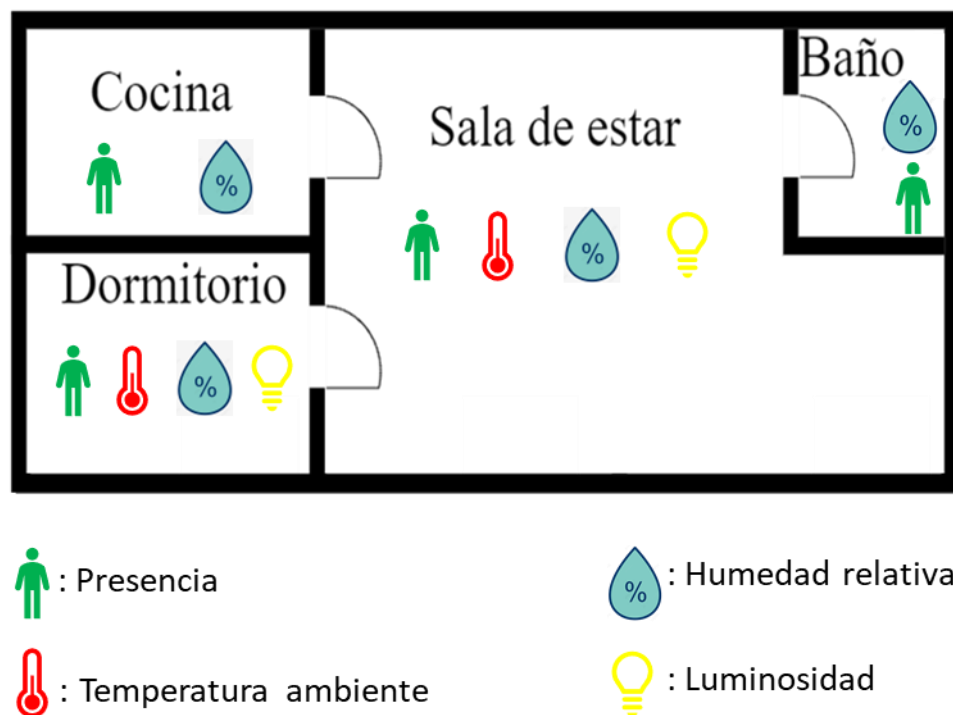


Fig. 3.2 Sensores de la vivienda.

(Fuente: Elaboración propia)

3.2.2 Actuadores

Cada habitación necesita actuadores, que serán los encargados de ejecutar las acciones dictadas por las reglas cuando se cumplan las condiciones.

TABLA 3.1 Actuadores de la casa inteligente.

Servicio	Actuador(es)	Función
Iluminación	Iluminación inteligente	Encender/apagar la iluminación de la habitación
Climatización	Humidificador	Aumentar el porcentaje de humedad relativa del aire
	Extractor de aire	Disminuir el porcentaje de humedad relativa del aire
	Aire acondicionado	Aumentar/disminuir la temperatura ambiente
Seguridad	Cerradura inteligente	Activar la cerradura (cerrar)
Confort Doméstico	Persiana	Abrir/cerrar la persiana de la habitación

➤ **Dormitorio**

Los actuadores son: iluminación, aire acondicionado, extractor de aire, humidificador y persiana.

➤ **Sala de estar**

Los actuadores son: iluminación, aire acondicionado, extractor de aire, humidificador, persiana y cerradura inteligente.

➤ **Cocina**

Los actuadores son: iluminación y extractor de aire (para controlar la humedad relativa solo se implementará el extractor de aire, ya que, la cocina es un ambiente con la humedad relativa alta)

➤ **Baño**

Los actuadores son: iluminación y extractor de aire (para controlar la humedad relativa solo se implementará el extractor de aire, ya que, el baño es un ambiente con la humedad relativa alta)

Por lo tanto, la distribución de los actuadores dentro de la casa inteligente puede verse en la fig. 3.3.

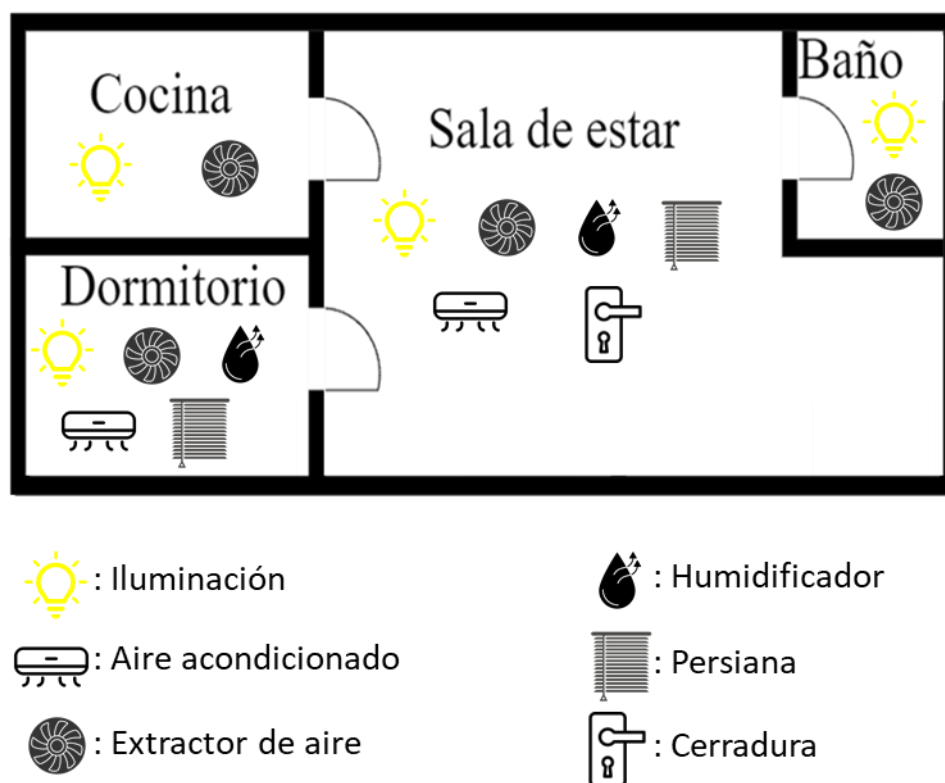


Fig. 3.3 Actuadores de la vivienda.

(Fuente: Elaboración propia)

3.3. Reglas de la casa inteligente

3.3.1 Iluminación

La iluminación es un tema importante en la vivienda, ya que el ahorro de energía puede ser mayor si se administra su uso o se optimiza. Para este caso se tomó en cuenta que el usuario tiene las siguientes preferencias:

- Encender la iluminación del dormitorio entre las 18:00 y 22:59 horas en invierno y entre las 20:00 y 22:59 horas en verano, en caso de detectar presencia. Se eligió ese rango horario debido a que a las 18:00 horas en verano y a las 20:00 horas en invierno es cuando comienza a anochecer, en cuanto a las 22:59 horas es porque a las 23:00 horas las personas de la casa suelen acostarse.
- Encender la iluminación del baño, la cocina y la sala de estar entre las 18:00 y 6:00 horas, en caso de detectar presencia. En este caso a diferencia del anterior se eligió el límite mayor del rango horario las 6:00 horas, debido a que las otras habitaciones suelen ser transitadas por las personas del hogar por diversos motivos (acostarse más tarde por ser fin de semana o día festivo, ir al baño durante la noche, entre otras) en horarios superiores a las 23:00 horas.
- La iluminación es una variable de respuesta rápida, es decir, que la iluminación al no detectar una persona en una habitación en concreto se apagaría de inmediato. Para evitar esta situación en caso de que las personas abandonen una habitación de forma momentánea, se implementó como condición un margen de tiempo sin presencia de 2 minutos para el caso del baño y la cocina y de 5 minutos para el dormitorio y la sala de estar.

Para cumplir las preferencias que quiere el usuario, se establecieron las siguientes reglas:

TABLA 3.1 Reglas de la iluminación.

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Dormitorio.	Presencia = Si Iluminación = OFF Estación = Invierno $18:00 \leq \text{Hora} < 23:00$	Iluminación = ON
Dormitorio.	Presencia = Si Iluminación = OFF Estación = Verano $20:00 \leq \text{Hora} < 23:00$	Iluminación = ON
Sala de estar, Cocina, Baño.	Presencia = Si Iluminación = OFF Estación = Invierno	Iluminación = ON

	$18:00 \leq \text{Hora} < 6:00$	
Sala de estar, Cocina, Baño.	Presencia = Si Iluminación = OFF Estación = Verano $20:00 \leq \text{Hora} < 6:00$	Iluminación = ON
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = No Iluminación = ON $\text{TiempoSinPresencia} \geq 5$	Iluminación = OFF
Cocina, Baño.	Presencia = No Iluminación = ON $\text{TiempoSinPresencia} \geq 2$	Iluminación = OFF
Dormitorio. *	Hora = 23:00	Iluminación = OFF

*En la última regla se dejó como condición la hora igual a las 23:00 horas y no mayor o igual, la razón es por si las personas requieren encender dicha iluminación de forma manual luego de dicha hora.

3.3.2 Climatización

Para el caso de la climatización, se implementó en dos habitaciones que son el dormitorio y la sala de estar. Para ajustar la temperatura se escogió dentro de los rangos en que se logra tener confort térmico dentro de la vivienda para verano e invierno. Otra variable para tener en cuenta es la humedad relativa la cual es distinta en verano como en invierno. Para aplicar de manera completa el confort térmico se consideraron aires acondicionados, extractores de aire y humidificadores de la siguiente manera:

- Para verano encender el aire acondicionado y ajustar su temperatura a 24° en el día y a 20° durante la noche.
- Para invierno encender el aire acondicionado y ajustar su temperatura a 21° en el día y a 17° durante la noche.
- Encender extractor de aire si la humedad relativa es mayor a 60% en verano y 50% en invierno.
- Encender humidificador si la humedad relativa es menor a 45% en verano y 40% en invierno.
- Al ser un sistema que está simulado y no estar implementado físicamente no existen actuadores que ajusten a través del tiempo las variables de temperatura ambiente y humedad relativa. Por lo tanto, para dar dicho cambio en el entorno de la casa se agrega como una acción (o consecuencia) en las reglas que dichas variables se ajusten a los valores del confort térmico.

Para lograr cumplir las preferencias se establecieron las siguientes reglas:

TABLA 3.2 Reglas del aire acondicionado (encendido).

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = OFF Estación = Invierno $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ $20^\circ > \text{TemperaturaAmbiente} > 22^\circ$	AireAcondicionado = ON Temperatura ambiente = 21°
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = OFF Estación = Invierno $20:00 \leq \text{Hora} < 8:00$ $16^\circ > \text{TemperaturaAmbiente} > 18^\circ$	AireAcondicionado = ON Temperatura ambiente = 17°
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = OFF Estación = Verano $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ $23^\circ > \text{TemperaturaAmbiente} > 25^\circ$	AireAcondicionado = ON Temperatura ambiente = 24°
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = OFF Estación = Verano $20:00 \leq \text{Hora} < 8:00$ $19^\circ > \text{TemperaturaAmbiente} > 21^\circ$	AireAcondicionado = ON Temperatura ambiente = 20°

TABLA 3.3 Reglas del aire acondicionado (apagado).

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = ON Estación = Invierno $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ $20^\circ \leq \text{TemperaturaAmbiente} \leq 22^\circ$	AireAcondicionado = OFF
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = ON Estación = Invierno $20:00 \leq \text{Hora} < 8:00$ $16^\circ \leq \text{TemperaturaAmbiente} \leq 18^\circ$	AireAcondicionado = OFF
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = ON Estación = Verano $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ $23^\circ \leq \text{TemperaturaAmbiente} \leq 25^\circ$	AireAcondicionado = OFF
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si AireAcondicionado = ON Estación = Verano $20:00 \leq \text{Hora} < 8:00$ $19^\circ \leq \text{TemperaturaAmbiente} \leq 21^\circ$	AireAcondicionado = OFF
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = No AireAcondicionado = ON	AireAcondicionado = OFF

TABLA 3.4 Reglas para la humedad relativa (encendido).

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Dormitorio, Sala de estar, Cocina, Baño.	Presencia = Si ExtractorDeAire = OFF Estación = Invierno HumedadRelativa > 50%	ExtractorDeAire = ON HumedadRelativa = 50%
Dormitorio, Sala de estar, Cocina, Baño.	Presencia = Si ExtractorDeAire = OFF Estación = Verano HumedadRelativa > 60%	ExtractorDeAire = ON HumedadRelativa = 60%
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si Humidificador = OFF Estación = Invierno HumedadRelativa < 40%	Humidificador = ON HumedadRelativa = 40%
Dormitorio, Sala de estar.	Presencia = Si Humidificador = OFF Estación = Verano HumedadRelativa < 45%	Humidificador = ON HumedadRelativa = 45%

TABLA 3.5 Reglas para la humedad relativa (apagado).

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Dormitorio, Sala de estar, Cocina, Baño.	ExtractorDeAire = ON Estación = Invierno HumedadRelativa $\leq$ 50%	ExtractorDeAire = OFF
Dormitorio, Sala de estar, Cocina, Baño.	ExtractorDeAire = ON Estación = Verano HumedadRelativa $\leq$ 60%	ExtractorDeAire = OFF
Dormitorio, Sala de estar.	Humidificador = ON Estación = Invierno HumedadRelativa $\geq$ 40%	Humidificador = OFF
Dormitorio, Sala de estar.	Humidificador = ON Estación = Verano HumedadRelativa $\geq$ 45%	Humidificador = OFF

3.3.3 Seguridad

Para la seguridad de la vivienda se consideran 2 tipos de servicios. El primero corresponde al control de acceso usando una cerradura inteligente en la puerta principal ubicada en la sala de estar, que se activará en el momento que los sensores de la casa no detecten alguna presencia. El segundo servicio es para cuando las personas se ausenten de la vivienda durante la noche, en esta situación se enciende la iluminación de la sala de estar desde las 22:00 a 1:00 horas con el fin de hacer creer que hay personas dentro de la casa.

TABLA 3.6 Reglas de seguridad.

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Sala de estar.	Cerradura = OFF PresenciaDormitorio = No PresenciaSalaDeEstar = No PresenciaCocina = No PresenciaBaño = No	Cerradura = ON
Sala de estar.	Iluminación = OFF PresenciaDormitorio = No PresenciaSalaDeEstar = No PresenciaCocina = No PresenciaBaño = No $22:00 \leq \text{Hora} < 1:00$	Iluminación = ON
Sala de estar.	Iluminación = ON PresenciaDormitorio = No PresenciaSalaDeEstar = No PresenciaCocina = No PresenciaBaño = No Hora = 1:00	Iluminación = OFF

3.3.4 Confort doméstico

Para el confort doméstico se consideran persianas inteligentes en el dormitorio y la sala de estar con el fin de manejar el abrir (OFF) o cerrar (ON) de tal manera que estén abiertas cuando la luminosidad exterior (LuminosidadExt) sea mayor a la presente dentro de la habitación (Luminosidad).

TABLA 3.7 Reglas de confort doméstico.

Habitación(es)	Condiciones	Consecuencia
Dormitorio, Sala de estar.	Persiana = ON $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ $\text{LuminosidadExt} > \text{Luminosidad}$	Persiana = OFF
Dormitorio, Sala de estar. *	Persiana = OFF Hora = 20:00	Persiana = ON

*En la última regla se dejó como condición la hora igual a las 20:00 horas y no mayor o igual, la razón de esto es por si las personas requieren abrir dicha persiana por algún motivo en especial luego de esa hora.

Capítulo 4. Implementación de Sistema de reglas para una Casa Inteligente

Para la creación del Sistema Basado en Reglas para la Asignación de Servicios para una Casa Inteligente (SBRASCI) se escogió a CLIPS y Python como las herramientas a utilizar para su implementación.

Se tomó como decisión utilizar CLIPS en el sistema por distintos motivos dentro de los cuales están:

➤ **Experiencia**

Es un programa que ya cuenta con varias décadas de desarrollo y sigue vigente hasta el día de hoy, lo que genera un alto nivel de confiabilidad.

➤ **Especialista**

CLIPS es una herramienta especializada al momento de implementar sistemas basados en reglas, como el que se busca crear en este caso. Cuenta con un motor de inferencia el cual utiliza el “*encadenamiento hacia adelante*” que es el razonamiento que se utiliza en este proyecto.

➤ **Compatibilidad**

Posee una amplia compatibilidad con otros lenguajes de programación, lo que facilita su complementación e integración para crear sistemas más flexibles y diversos en términos de funciones. Python es uno de los lenguajes de programación compatibles con esta característica.

➤ **Soporte**

Existe un gran respaldo al programa, tanto por parte de los desarrolladores como de su comunidad de usuarios. Además, en internet se pueden encontrar varios proyectos realizados con CLIPS, lo que genera una gran cantidad de información sobre su sintaxis y otros aspectos relacionados.

Por otra parte, se tomó como decisión utilizar Python en el sistema por distintos motivos dentro de los cuales están:

➤ **Versatilidad**

Una de las grandes virtudes de Python es que su sintaxis es sencilla de comprender y aprender aún para alguien inexperto en dicho lenguaje de programación.

Al contar con una gran cantidad de bibliotecas se puede adaptar a distintos contextos o situaciones que se puedan presentar en el desarrollo de un proyecto.

➤ **Compatibilidad**

Una de sus más grandes características es un alto nivel de integración de distintos sistemas u otros lenguajes de programación mediante distintas bibliotecas, dentro de las cuales se encuentra una para integrar y complementar Python con CLIPS.

➤ **Soporte**

Existe una gran cantidad de recursos entregados tanto por los desarrolladores como por la comunidad de usuarios que le dan uso, debido a que en la actualidad este lenguaje de programación es altamente utilizado

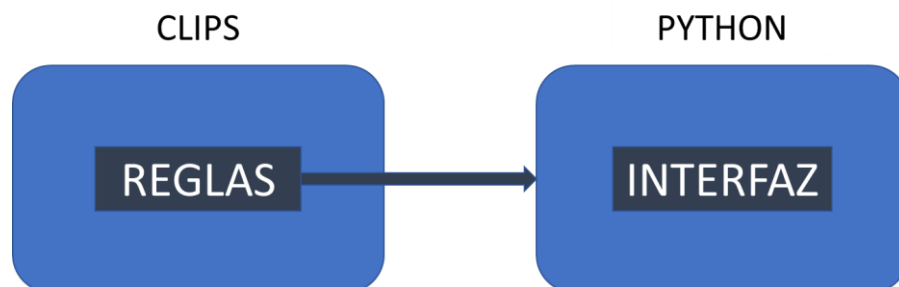


Fig. 4.1 Integración de los entornos.

(Fuente: Elaboración propia)

La manera en la que se creó el sistema SBRASCI como se puede apreciar en la fig. 4.1, consiste en crear las reglas para los distintos servicios dentro del entorno de CLIPS y luego integrarlas dentro del entorno de Python en donde dichas reglas se aplican a los hechos pertenecientes al entorno de la casa inteligente, visualizando así los hechos finales luego de aplicar dichas reglas a través de una interfaz. Para la integración de ambos lenguajes de programación se utilizó la biblioteca llamada “*clipsy*”.

4.1. Estructura del sistema

Para que se lleve a cabo el funcionamiento completo del sistema consta de varias etapas, las cuales se puede apreciar en el fig. 4.2

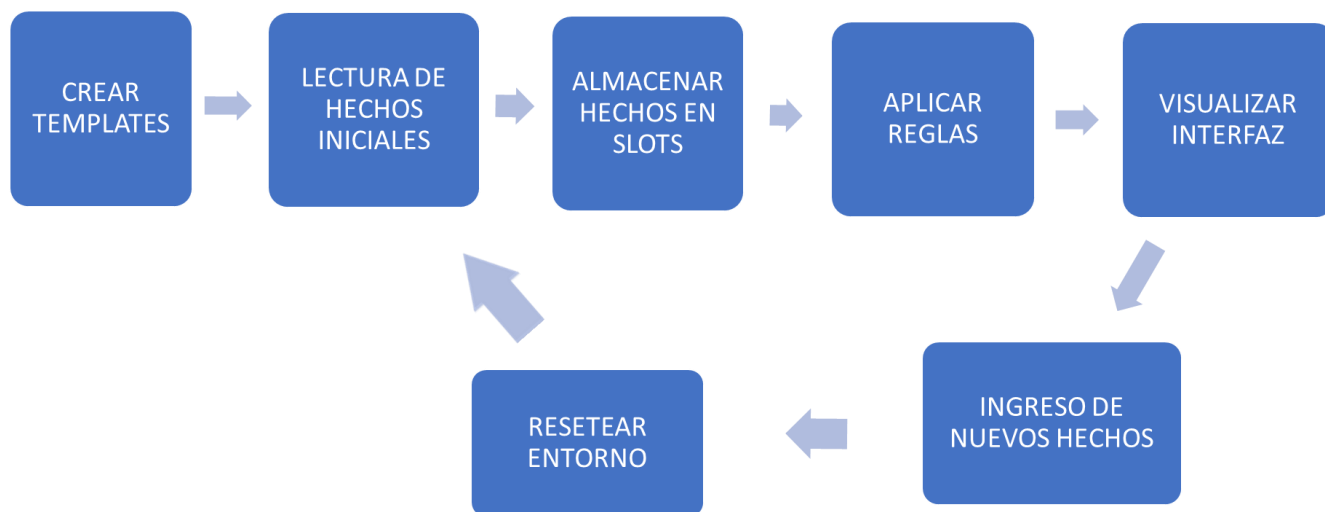


Fig. 4.2 Proceso del sistema basado en reglas creado.

(Fuente: Elaboración propia)

En el proceso general del sistema basado en reglas creado el primer paso es la creación de los templates para las distintas habitaciones, que proporcionan una estructura predefinida en donde se almacenan los hechos iniciales del entorno de la casa.

Una vez creados los templates, se realiza la recopilación de los hechos mediante distintos tipos de sensores. Estos sensores son los encargados de recopilar variables como, por ejemplo: temperatura ambiente, humedad, presencia, entre otras.

Luego de recopilar la información de los hechos, estos se almacenan en los slots correspondientes de los templates de cada habitación. Los distintos slots corresponden a las distintas variables específicas dentro de una habitación.

Después de almacenar la información en los slots se ejecutan las reglas implementadas en el sistema, las cuales generan las acciones que se realizarán por los distintos actuadores. Luego de ser aplicadas las reglas, los valores de los nuevos hechos resultantes se guardan en sus correspondientes slots.

Una vez obtenidos los hechos resultantes es posible ver los resultados al aplicarse las reglas, para esto se crea una interfaz dentro de la cual se pueden visualizar tanto los hechos iniciales como los hechos resultantes al mismo tiempo.

Para ingresar nuevos hechos iniciales al sistema existe una interfaz a la cual se accede haciendo clic en “Ingresar nuevos hechos” en la interfaz anterior. Luego de ser ingresados los valores de los nuevos hechos del entorno de la casa mediante la interfaz estos se almacenan en los slots correspondientes en los templates de cada habitación.

Antes de aplicar las reglas a los nuevos hechos iniciales es necesario hacer un reseteo del entorno de CLIPS. Luego de hacer este reseteo del entorno es posible seguir con el proceso normal del sistema basado en reglas creado.

4.2. Implementación de reglas en CLIPS

Las reglas se crean en el entorno de CLIPS. Para esto se debe seguir una estructura en concreto está compuesta por condiciones y acciones. También hay consideraciones (que se explicaran más adelante) tomar en cuenta al momento de crear las reglas.

Una regla está compuesta por dos secciones que son las condiciones y las acciones. A continuación, se muestra como ejemplo una de las reglas implementadas en el sistema para explicar cada una de ellas:

```
(defrule DormitorioIluminación_Apagar ;Regla 2
  ?d <- (Dormitorio
        (Presencia "No")
        (Iluminación "ON")
        (TiempoSinPresencia ?TiempoSinPresencia))
        (test (>= ?TiempoSinPresencia 5))
  =>
  (printout t "Apagar la iluminación del dormitorio." crlf)
  (modify ?d (Iluminación "OFF"))
)
```

Lo primero es definir un nombre para la regla, para esto se utiliza el comando “defrule” y luego el nombre de la regla.

En la sección de condiciones, se presentan tres variables o slots pertenecientes a un mismo template, que es el Dormitorio. Esta estructura de datos está almacenada en la variable "?d", la cual funciona como un puntero y guarda toda la información relacionada con ese template en esa dirección. Los valores de los slots Presencia e Iluminación están entre comillas debido a que son de tipo string, en el caso de TiempoSinPresencia al ser un valor entero no se requieren comillas. El motivo por el cual el valor de la variable TiempoSinPresencia se antecede con un signo de interrogación es para indicar que no hay un valor definido, sino que se espera obtener un valor que cumpla con ciertas restricciones. En este caso, la restricción se encuentra en la línea siguiente, donde se especifica que el valor de TiempoSinPresencia debe ser mayor o igual a 5 (el comando "test" se utiliza para recorrer valores según la restricción correspondiente).

En cuanto a la sección de acciones, que se encuentra después del símbolo "=>", se especifican las tareas a realizar en caso de que se cumplan las condiciones previamente definidas. En este caso, la primera tarea consiste en crear un mensaje que aparecerá en la terminal y dirá "Apagar la iluminación del dormitorio". Para lograr esto, se utilizan tres comandos: en primer lugar, "printout" se emplea para mostrar un texto al activar la regla, luego "t" se utiliza para mostrar ese texto en la terminal, por último "crlf" realiza un salto de línea.

La otra acción que se llevará a cabo es cambiar el estado de la iluminación del dormitorio a "OFF", es decir, apagar la iluminación. Para esta tarea se utiliza el comando "modify", el cual permite modificar los valores de los slots creados, y se utiliza la variable "?d" para acceder al slot Iluminación perteneciente a la clase "Dormitorio".

4.2.1 Consideraciones

Al ser un sistema simulado y no estar implementado, físicamente no cuenta con actuadores por lo que se debió tener las siguientes consideraciones:

- Dado que no hay actuadores presentes, en situaciones relacionadas con las reglas que encienden el aire acondicionado y lo ajustan a una cierta temperatura, no es posible realizar un aumento gradual de la temperatura ambiente. Por esta razón, se ha implementado como acción en las reglas el cambio inmediato del valor del slot de temperatura, como se puede observar en la siguiente regla (esta consideración también se toma en cuenta para lo relacionado a la humedad relativa):

```

(defrule DormitorioAireAcondicionado_Invierno_Dia_Encender ;Regla 10
  ?d <- (Dormitorio
        (Presencia "Si")
        (AireAcond "OFF")
        (TempAmbiente ?TempAmbiente))
  ?g <- (Generales
        (Estación "Invierno")
        (Hora ?Hora))
        (test (and (>= ?Hora 800) (< ?Hora 2000)))
        (test (or (< ?TempAmbiente 20) (> ?TempAmbiente 22)))
  =>
  (printout t "Encender el aire acondicionado del dormitorio a 21°." crlf)
  (modify ?d (AireAcond "ON"))
  (modify ?d (TempAmbiente 21))
  (modify ?d (AuxT 1))
  )

```

En este caso se cambia el valor de la temperatura ambiente del dormitorio a 21°.

- Otra consideración relacionada con lo anterior es que, al cambiar de forma inmediata la temperatura ambiente, la regla correspondiente a apagar el aire acondicionado se activaba de inmediato cuando la temperatura alcanzaba los valores establecidos dentro del confort térmico. Esto generaba una distorsión en los hechos del entorno al momento de aplicar las reglas. Para solucionar este problema, se creó una variable auxiliar que comienza con un valor de 0. Si en este caso se activa la regla para encender el aire acondicionado, se modifica el valor de la variable auxiliar a 1. Como se puede observar en la siguiente regla, correspondiente a apagar el aire acondicionado, una de sus condiciones es que la variable auxiliar tenga un valor de 0, de esta manera ya no se volverá a producir dicho problema. La variable auxiliar volverá a retomar el valor de 0 al aplicar las reglas en nuevos hechos iniciales, es decir, en otra iteración.

```

(defrule DormitorioAireAcondicionado_Invierno_Dia_Apagar ;Regla 11
  ?d <- (Dormitorio
        (Presencia "Si")
        (AireAcond "ON")
        (TempAmbiente ?TempAmbiente)
        (AuxT 0))
  ?g <- (Generales
        (Estación "Invierno")
        (Hora ?Hora))
        (test (and (>= ?Hora 800) (< ?Hora 2000)))
        (test (and (>= ?TempAmbiente 20) (<= ?TempAmbiente 22)))
  =>
  (printout t "Apagar el aire acondicionado del dormitorio." crlf)
  (modify ?d (AireAcond "OFF"))
  )

```

4.2.2 Funcionamiento en interfaz de CLIPS

Para mostrar como seria la implementación de las reglas en la interfaz de CLIPS, se ingresará la regla 2 (regla que apaga la iluminación del dormitorio) mencionada anteriormente y se aplicará a unos hechos que cumplan sus condiciones. Primeramente, es necesario crear la estructura de los hechos para el dormitorio de la siguiente manera:

```

(deftemplate Dormitorio
  (slot Presencia)
  (slot TiempoSinPresencia)
  (slot Iluminación)

```

Luego para ingresar los valores de los hechos iniciales en la estructura recién creada, se realiza de la siguiente forma:

```

(deffacts EstadoDormitorio
  (Dormitorio
    (Presencia No)
    (TiempoSinPresencia 6)
    (Iluminación ON))
  )

```

A continuación, es necesario guardar todo lo anteriormente mencionado dentro de un archivo de texto junto a, en este caso, la regla 2. Después para cargar el archivo de texto, es necesario usar el comando “load” junto a la ubicación de dicho archivo en la ventana de diálogo. Una vez ya cargado es necesario reiniciar el entorno y ya se encontrará cargado en la interfaz. (ver fig. 4.3)

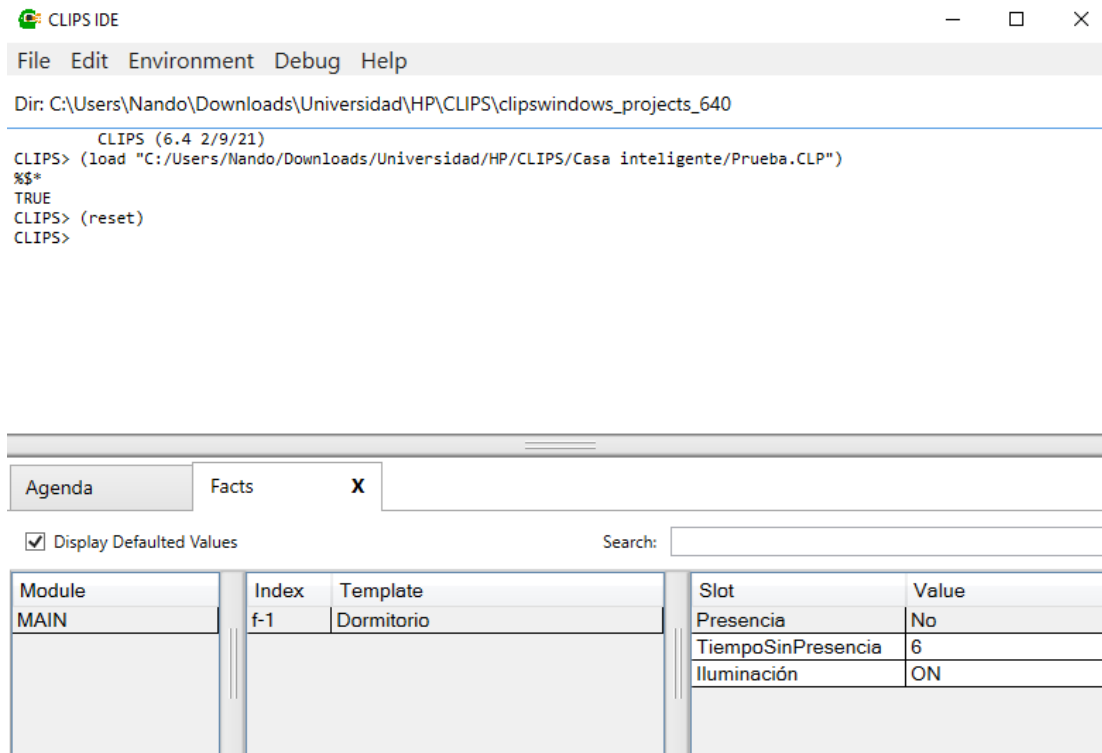


Fig. 4.3 Hechos iniciales en Interfaz de CLIPS.

(Fuente: Elaboración propia)

En la ventana de “Facts”, se puede apreciar que se encuentran ingresados los hechos iniciales. Finalmente, luego de aplicar la regla los hechos quedan como se puede apreciar en la fig. 4.4.

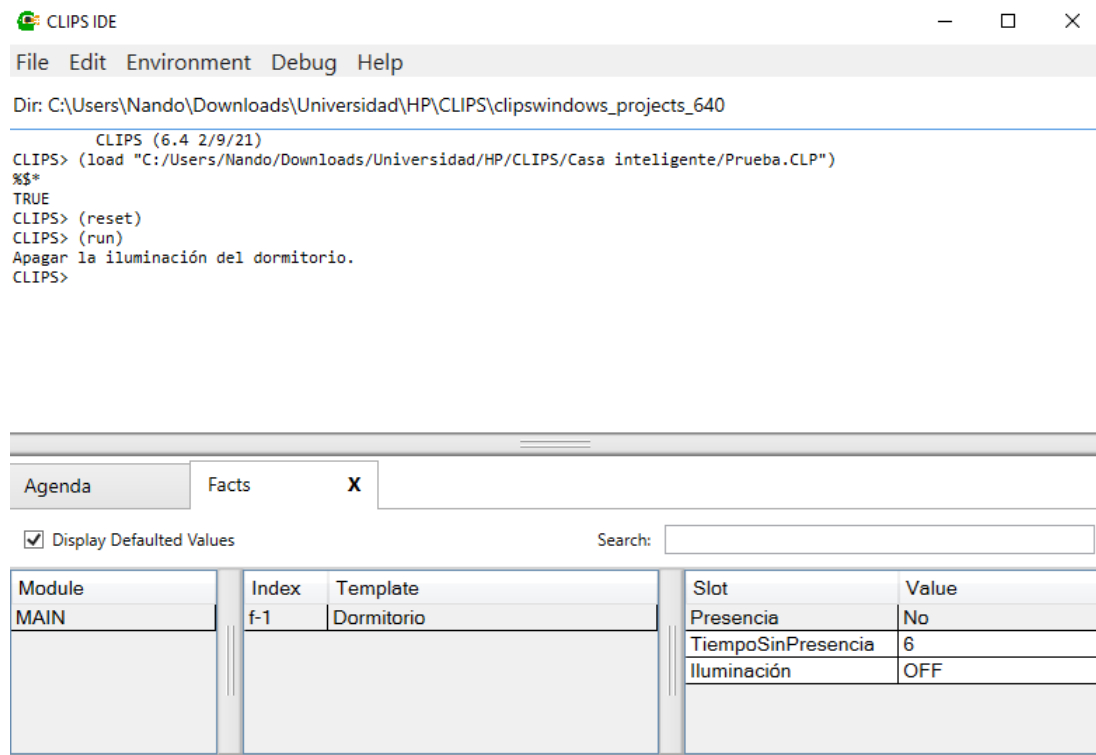


Fig. 4.4 Hechos finales en la interfaz de CLIPS.

(Fuente: Elaboración propia)

Se logra ver qué cambio el estado de la iluminación, pasando a estar apagada y en la ventana de dialogo aparece la acción que se llevó a cabo por la regla.

4.3. Integración de sistema en Python

Una vez que las reglas ya han sido creadas en el entorno de CLIPS, es necesario completar la implementación del sistema en el entorno de Python. Este proceso implica varias etapas para tener en cuenta como son: crear templates, los hechos iniciales, los slots y aplicar las reglas. Luego para visualizar de mejor manera los resultados, se crea una interfaz y otra para ingresar nuevos hechos iniciales.

El proceso general para la integración del entorno de CLIPS en Python se puede resumir de la siguiente manera:

Inicio

- Importar biblioteca
- Crear templates para los slots
- Crear variables de los hechos iniciales
- Crear variables para los hechos resultantes
- Asignar slots de hechos iniciales en diccionario
- Aplicar las reglas
- Guardar valores de hechos resultantes en los slots

Fin

A continuación, se explica en detalle las distintas partes del proceso del sistema basado en reglas, tanto de la implementación del entorno de CLIPS en Python como el de la creación de las interfaces

4.3.1 Crear templates

Primeramente, es necesario importar la biblioteca llamada “clipsy” y crear el entorno de CLIPS, esto se hace guardando el comando “clips.Environment()” el cual se guardó en la variable “env”. Luego, para la creación de los hechos pertenecientes al entorno de la casa inteligente es necesario comenzar por crear los templates para cada habitación. Los templates son estructuras predefinidas pertenecientes al lenguaje de CLIPS que permiten almacenar los slots para cada variable existente en las distintas habitaciones, un ejemplo de su estructura es el siguiente:

```

DEFTEMPLATE_DORMITORIO = """
(deftemplate Dormitorio
  (slot Presencia (type STRING))
  (slot Iluminación (type STRING))
  (slot TiempoSinPresencia (type INTEGER))
  (slot AireAcond (type STRING))
  (slot TempAmbiente (type INTEGER))
  (slot Extractor (type STRING))
  (slot Humedad (type INTEGER))
  (slot Humidificador (type STRING))
  (slot Persiana (type STRING))
  (slot Luminosidad (type INTEGER))
  (slot LuminosidadExt (type INTEGER))
  (slot AuxT (type INTEGER))
  (slot AuxH (type INTEGER)))
  """

```

El comando que se utiliza para crear los templates es “deftemplate” y a su lado se escribe el nombre del template a crear que en este caso es el nombre de cada habitación de la casa inteligente. Dentro del template se agregan los slots con su nombre correspondiente y también es necesario agregar el tipo de dicha variable.

En el entorno de Python, es necesario guardar todo lo anterior dentro de una variable que en este caso se llama “DEFTEMPLATE_DORMITORIO”.

Con respecto a “AuxT” y “AuxH” son las variables auxiliares asignadas a la temperatura ambiente y a la humedad relativa respectivamente.

4.3.2 Hechos iniciales

Es necesario ingresar los hechos iniciales o estado del entorno de la casa inteligente, para esto se crearon 2 escenarios los cuales son ingresados en formato de lista en cada una de las variables correspondientes tal como se aprecia en el siguiente código.

```
PresenciaD = ['Si', 'No']
TempAmbienteD = [18, 20]
HumedadD = [50, 49]
LuminosidadD = [100, 20]
LuminosidadExtD = [5, 90]
TiempoSinPresenciaD = [0, 11]
IluminaciónD = ['OFF', 'OFF']
AireAcondD = ['OFF', 'OFF']
ExtractorD = ['OFF', 'OFF']
HumidificadorD = ['OFF', 'OFF']
PersianaD = ['ON', 'ON']
AuxTD = list(0 for i in range(len(PresenciaD)))
AuxHD = list(0 for i in range(len(PresenciaD)))
```

También es necesario crear otras variables a las que se le asignará una lista vacía a cada una. La función que cumplirán es almacenar los distintos hechos (también se podrían llamar hechos resultantes) luego de que se apliquen las reglas correspondientes a los hechos iniciales. Por ejemplo, en la variable “TempAmbienteD_HF” se almacenará el valor de la temperatura ambiente del dormitorio luego de aplicarse las reglas. Las variables se crean de la siguiente manera.

```

## DORMITORIO
TempAmbienteD_HF = list(range(len(HoraG)))
HumedadD_HF = list(range(len(HoraG)))
IluminaciónD_HF = list(range(len(HoraG)))
AireAcondD_HF = list(range(len(HoraG)))
ExtractorD_HF = list(range(len(HoraG)))
HumidificadorD_HF = list(range(len(HoraG)))
PersianaD_HF = list(range(len(HoraG)))

```

La variable “HoraG” corresponde a donde se almacena la lista que guarda la hora de los escenarios.

4.3.3 Slots

Una vez que los templates y sus slots correspondientes han sido creados y los hechos iniciales han sido cargados, es posible almacenar esos hechos en los slots utilizando la siguiente estructura:

```

fact_Dormitorio = Dormitorio.assert_fact(Presencia = PresenciaD[i],
                                         TempAmbiente = TempAmbienteD[i],
                                         Humedad = HumedadD[i],
                                         Luminosidad = LuminosidadD[i],
                                         LuminosidadExt = LuminosidadExtD[i],
                                         TiempoSinPresencia = TiempoSinPresenciaD[i],
                                         Iluminación = IluminaciónD[i],
                                         AireAcond = AireAcondD[i],
                                         Extractor = ExtractorD[i],
                                         Humidificador = HumidificadorD[i],
                                         Persiana = PersianaD[i],
                                         AuxT = AuxTD[i],
                                         AuxH = AuxHD[i])

```

Este tipo de estructura en Python se le llama diccionario, en el cual se almacena una variable llamada “fact_Dormitorio”. Para esto se ingresan los hechos iniciales en su slot correspondiente definido en el template de la forma en que se puede apreciar en el código.

4.3.4 Aplicar reglas

Ya teniendo los valores (en este caso los hechos iniciales) guardados en su slot correspondiente en la estructura del diccionario de la sección 4.3.3 para todas las habitaciones, es posible aplicar las reglas mediante el comando “env.run”. Luego se necesita almacenar los hechos finales nuevamente en la estructura ya habiéndose aplicado las reglas en el formato del diccionario, que en este caso es en la variable “fact_Dormitorio”, para esto se utiliza el comando “env.facts”.

Luego para guardar los hechos finales de cada iteración se necesita acceder a la estructura del diccionario creado en la sección 4.3.3 y guardar el valor de una variable en específico en las variables de la sección 4.3.2. Por ejemplo, si se quiere acceder al valor de la temperatura ambiente (en este caso del dormitorio) se hace mediante el nombre de su diccionario (fact_Dormitorio) junto a “TempAmbiente”, quedando de la siguiente manera: fact_Dormitorio['TempAmbiente'].

```
# DORMITORIO
TempAmbienteD_HF[i] = fact_Dormitorio['TempAmbiente']
HumedadD_HF[i] = fact_Dormitorio['Humedad']
IluminaciónD_HF[i] = fact_Dormitorio['Iluminación']
AireAcondD_HF[i] = fact_Dormitorio['AireAcond']
ExtractorD_HF[i] = fact_Dormitorio['Extractor']
HumidificadorD_HF[i] = fact_Dormitorio['Humidificador']
PersianaD_HF[i] = fact_Dormitorio['Persiana']
```

4.3.5 Interfaz

Para facilitar la visualización tanto de los hechos iniciales del entorno de la casa como de los hechos al aplicarse las distintas reglas (hechos resultantes), se ha creado una interfaz que consta de dos secciones:

➤ Hechos Iniciales

En esta sección se muestran los distintos hechos que representan el estado inicial del entorno de la casa. Para esto se creó una tabla, que consta de una primera columna con las distintas variables presentes en el sistema, y el resto de columnas para las habitaciones que componen la casa.

➤ Hechos Resultantes

En esta sección se muestran los hechos generados a partir de la aplicación de las distintas reglas a los hechos iniciales, es decir, el estado actual de la casa inteligente. Para una mejor visualización, se ha creado una estructura que refleja la distribución de la casa, similar a la figura 3.2 del capítulo anterior. Dentro de cada habitación se muestran las distintas variables involucradas.

Los hechos iniciales se encuentran en el panel derecho de la interfaz y los hechos resultantes en el panel izquierdo (ver la fig. 4.5).

The screenshot shows a web application titled 'Casa Inteligente'. It has a header with 'Hora:', 'CASA INTELIGENTE', and 'Estación:'. The main content is divided into two sections: 'CASA INTELIGENTE' and 'HECHOS INICIALES'.

CASA INTELIGENTE is divided into three columns for rooms: COCINA, SALA DE ESTAR, and BAÑO. Each room has a list of variables to be monitored or controlled, such as 'Presencia', 'Temperatura', 'Humedad', 'TiempoSinPresencia', 'Iluminación', 'Extractor de aire', 'Aire acondicionado', 'Humidificador', 'Persiana', and 'Cerradura'.

HECHOS INICIALES is a table with columns for DORMITORIO, SALA DE ESTAR, COCINA, and BAÑO. It lists the same variables as the rooms, with a 'Presencia' row at the top and a 'Cerradura' row at the bottom. A button 'Ingresar nuevos hechos' is located at the bottom right.

Fig. 4.5 Interfaz de hechos del entorno de la casa.

(Fuente: Elaboración propia)

4.3.6 Nuevos hechos iniciales

Una vez aplicadas las reglas a los hechos iniciales predefinidos en el sistema, es posible que se desee ingresar nuevos hechos iniciales del entorno de la casa de tal forma que se actualice su estado. Para esto se ha creado una interfaz con el mismo formato de la sección de hechos iniciales de la interfaz anterior, permitiendo hacer el ingreso de nuevos datos al sistema y aplicarles reglas a ellos.

En esta interfaz para el ingreso existen dos maneras. La primera es a través de botones punteados, las opciones que para ingresar son “Si” (existe presencia) o “No” (no existe presencia) en el caso de la presencia y “ON” (activado) u “OFF” (desactivado) en el resto de las variables. La otra manera es a través de un cuadro de texto donde los valores que se ingresan son numéricos. En la interfaz en las partes donde hay una “X” es porque no existe dicha variable en esa habitación (ver la fig. 4.6).

Nuevos Hechos Iniciales

Ingrese los nuevos hechos iniciales:

HECHOS INICIALES

	DORMITORIO	SALA DE ESTAR	COCINA	BAÑO
Presencia	---	---	---	---
Temperatura [°C]			X	X
Humedad [%]				
Luminosidad			X	
LuminosidadExt			X	X
TiempoSinPresencia				
Iluminación	---	---	---	---
Aire Acondicionado	---	---	X	X
Extractor de Aire	---	---	---	---
Humidificador	---	---	X	X
Persiana	---	---	X	X
Cerradura	X	---	X	X

Hora:
 Estación:

Fig. 4.6 Interfaz para ingresar nuevos hechos iniciales.

(Fuente: Elaboración propia)

4.4. Resultados

Con el fin de probar el sistema basado en reglas para la asignación de servicios en un ambiente inteligente, se plantea escenarios en una simulación para el entorno de la casa inteligente en los cuales para cada habitación se describirán las mediciones realizadas por sus sensores correspondientes al entorno de la casa y el estado inicial de los actuadores.

4.4.1 Escenario 1

➤ Dormitorio

- Sensores

La información captada por los sensores en el dormitorio es que se detecta una persona, existe una temperatura ambiente de 18°, una humedad relativa del 50%, la luminosidad interior es de 100 [Lx], la luminosidad en el exterior es de 5 [Lx] y el tiempo en que no se detecta presencia es de a 0 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en el dormitorio es que la persiana se encuentra activada (cerrada). La iluminación, el aire acondicionado, el extractor de aire y el humidificador se encuentran apagados.

➤ Sala de estar

- Sensores

La información captada por los sensores en la sala de estar es que se detecta una persona, existe una temperatura ambiente de 17°, una humedad relativa del 50%, la luminosidad interior es de 210 [Lx], la luminosidad en el exterior es de 7 [Lx] y el tiempo en que no se detecta presencia es de 0 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en la sala de estar es que la persiana se encuentra activada (cerrada). La iluminación, el aire acondicionado, el extractor de aire, el humidificador y la cerradura se encuentran apagados.

➤ Cocina

- Sensores

La información captada por los sensores en la cocina es que se detecta una persona, una humedad relativa del 62% y el tiempo en que no se detecta presencia es de 0 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en la cocina es que la iluminación y el extractor de aire se encuentran apagados.

➤ **Baño**

- Sensores

La información captada por los sensores en el baño es que no se detecta una persona, una humedad relativa del 61% y el tiempo en que no se detecta presencia es de 4 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en el baño es que la iluminación y el extractor de aire se encuentran apagados.

➤ **General**

Se define la estación como verano y se fija la hora como las 21:00 horas.

En la interfaz cada variable tiene asignado un valor numérico, señal verde, señal roja o una X. La señal verde indica en el caso de la variable de presencia que se detecta personas en dicha habitación y para las variables relacionadas a los actuadores significa que este se encuentra activado. La señal roja indica en el caso de la presencia que no se detecta personas en dicha habitación y para las variables de los actuadores indica que estos se encuentran desactivados.

Al ingresar los hechos iniciales al sistema y ejecutar el proceso se arrojan los resultados obtenidos en la fig. 4.7.

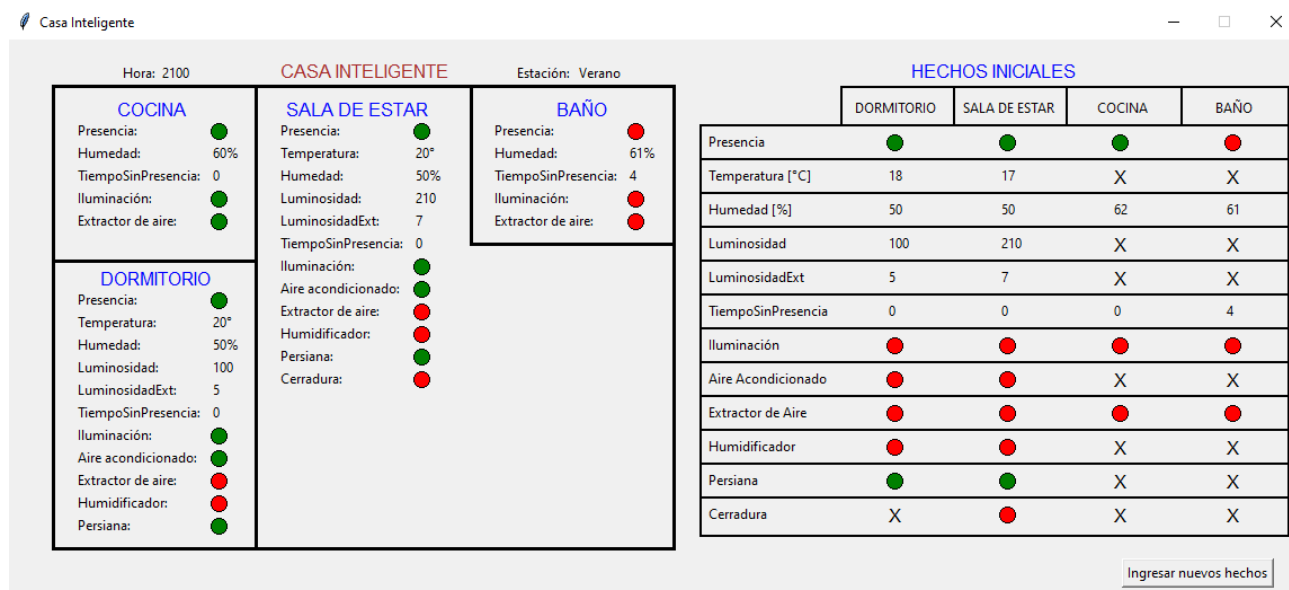


Fig. 4.7 Resultados del escenario 1.

(Fuente: Elaboración propia)

Al analizar la interfaz de la fig. 4.7 se puede apreciar que en el dormitorio al estar la temperatura ambiente por debajo del confort térmico (menor a 19°) y existir presencia se activó la regla que enciende el aire acondicionado y ajusta su temperatura a 20°. Otra regla que se activa es la iluminación debido a que se detecta una persona (presencia) y la hora se encuentra dentro de los rangos en que se requiere estar encendida.

En la sala de estar como la temperatura ambiente está por debajo del confort térmico y se detecta una persona dentro de la habitación se activa la regla que enciende el aire acondicionado y ajusta su temperatura a 20°. Otra regla que se activa es la relacionada a la iluminación debido a que la hora se encuentra dentro de los rangos en que se requiere estar encendida y hay una persona en la habitación.

En la cocina al estar la humedad relativa por sobre lo deseado se activa la regla que enciende el extractor de aire y disminuye la humedad a un 60%, La iluminación se enciende debido a que se detecta una persona dentro de la cocina.

En el baño al no detectar una persona y no haber ningún actuador encendido en los hechos iniciales no se activa ninguna regla.

4.4.2 Escenario 2

➤ Dormitorio

- Sensores

La información captada por los sensores en el dormitorio es que no se detecta una persona, existe una temperatura ambiente de 20°, una humedad relativa del 49%, la luminosidad interior es de 20 [Lx], la luminosidad en el exterior del dormitorio de 90 [Lx] y el tiempo en que no se detecta presencia es de 11 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en el dormitorio es que la persiana se encuentra activada. La iluminación, el aire acondicionado, el extractor de aire y el humidificador se encuentran apagados.

➤ Sala de estar

- Sensores

La información captada por los sensores en la sala de estar es que no se detecta una persona, existe una temperatura ambiente de 21°, una humedad relativa del 48%, la luminosidad interior es de 21 [Lx], luminosidad en el exterior de la sala de estar de 91 [Lx] y el tiempo en que no se detecta presencia es de 1 minuto.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en la sala de estar es que la persiana se encuentra activada. La iluminación, el aire acondicionado, el extractor de aire, el humidificador y la cerradura se encuentran apagados.

➤ Cocina

- Sensores

La información captada por los sensores en la cocina es que no se detecta una persona, existe una humedad relativa del 50% y un tiempo en que no se detecta presencia es de 15 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en la cocina es que la iluminación y el extractor de aire se encuentran apagados.

➤ **Baño**

- Sensores

La información captada por los sensores en el baño es que no se detecta una persona, existe una humedad relativa del 50% y un tiempo sin presencia igual a 9 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en el baño es que la iluminación y el extractor de aire se encuentran apagados.

➤ **General**

Se define la estación como invierno y se fija la hora como las 8:00 horas.

Al ingresar los hechos iniciales al sistema y ejecutar el proceso se arrojan los resultados obtenidos en la fig. 4.8.

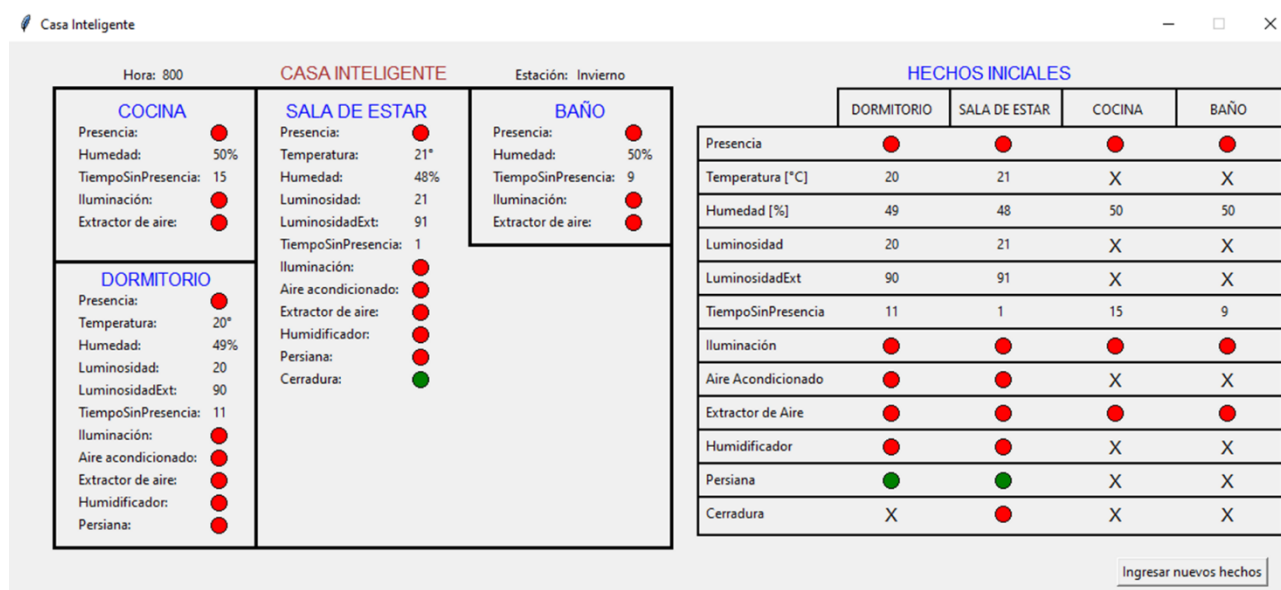


Fig. 4.8 Resultados del escenario 2.

(Fuente: Elaboración propia)

Al analizar la interfaz de la fig. 4.8 se puede apreciar que en el dormitorio y la sala de estar al ser mayor la luminosidad exterior (90 [Lx] en el caso del dormitorio y 91 [Lx] en la sala de estar) que la luminosidad interior (20 [Lx] en el caso del dormitorio y 21 [Lx] en la sala de estar), estar activada la persiana (cerrada) y la hora se encuentra entre el rango horario definido, se ejecuta la regla que desactiva la persiana (abierta).

Al no detectar presencia de alguna persona en todas las habitaciones de la casa y estar desactivada la cerradura se ejecuta la regla que activa (cerrar) dicha cerradura situada en la puerta principal del hogar.

4.4.3 Escenario 3

Para este escenario se usa la interfaz para ingresar nuevos hechos iniciales (ver fig. 4.6), cuyos hechos a ingresar para cada habitación son los siguientes:

➤ **Dormitorio**

- **Sensores**

La información captada por los sensores en el dormitorio es que no se detecta una persona, existe una temperatura ambiente de 14°, una humedad relativa del 53%, la luminosidad interior es de 105 [Lx], la luminosidad en el exterior del dormitorio de 20 [Lx] y el tiempo en que no se detecta presencia es de 10 minutos.

- **Actuadores**

El estado inicial de los actuadores presentes en el dormitorio es que la iluminación se encuentra encendida. El aire acondicionado, el extractor de aire, el humidificador y la persiana se encuentran apagados.

➤ **Sala de estar**

- **Sensores**

La información captada por los sensores en la sala de estar es que no se detecta una persona, existe una temperatura ambiente de 13°, una humedad relativa del 50%, la luminosidad interior es de 215 [Lx], la luminosidad en el exterior de la sala de estar es de 25 [Lx] y el tiempo en que no se detecta presencia es de 1 minuto.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en la sala de estar es que la iluminación se encuentra encendida. El aire acondicionado, el extractor de aire, el humidificador, la persiana y la cerradura se encuentran apagados.

➤ **Cocina**

- Sensores

La información captada por los sensores en la cocina es que se detecta una persona, existe una humedad relativa del 60% y el tiempo en que no se detecta presencia es de 0 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en la cocina es que la iluminación y el extractor de aire se encuentran apagados.

➤ **Baño**

- Sensores

La información captada por los sensores en el baño es que se detecta una persona, existe una humedad relativa del 65% y el tiempo en que no se detecta presencia es de 0 minutos.

- Actuadores

El estado inicial de los actuadores presentes en el baño es que la iluminación y el extractor de aire se encuentran apagados.

➤ **General**

Se define la estación como invierno y se fija la hora como las 18:30 horas.

Quedando los nuevos hechos ingresados en la interfaz de la fig. 4.6 de la siguiente manera (ver fig. 4.9).

Nuevos Hechos Iniciales

— □ ×

Ingrese los nuevos hechos iniciales:

HECHOS INICIALES

	DORMITORIO	SALA DE ESTAR	COCINA	BAÑO
Presencia	No	No	Si	Si
Temperatura [°C]	14	13	X	X
Humedad [%]	53	50	60	65
Luminosidad	105	215	X	
LuminosidadExt	20	25	X	X
TiempoSinPresencia	10	1	0	0
Iluminación	ON	ON	OFF	OFF
Aire Acondicionado	OFF	OFF	X	X
Extractor de Aire	OFF	OFF	OFF	OFF
Humidificador	OFF	OFF	X	X
Persiana	OFF	OFF	X	X
Cerradura	X	OFF	X	X

Aceptar
 Hora: 1830
 Estación: Invierno
 Cancelar

Fig. 4.9 Nuevos hechos iniciales.

(Fuente: Elaboración propia)

Al ingresar los hechos iniciales al sistema y ejecutar el proceso se arrojan los resultados obtenidos en la fig. 4.10.

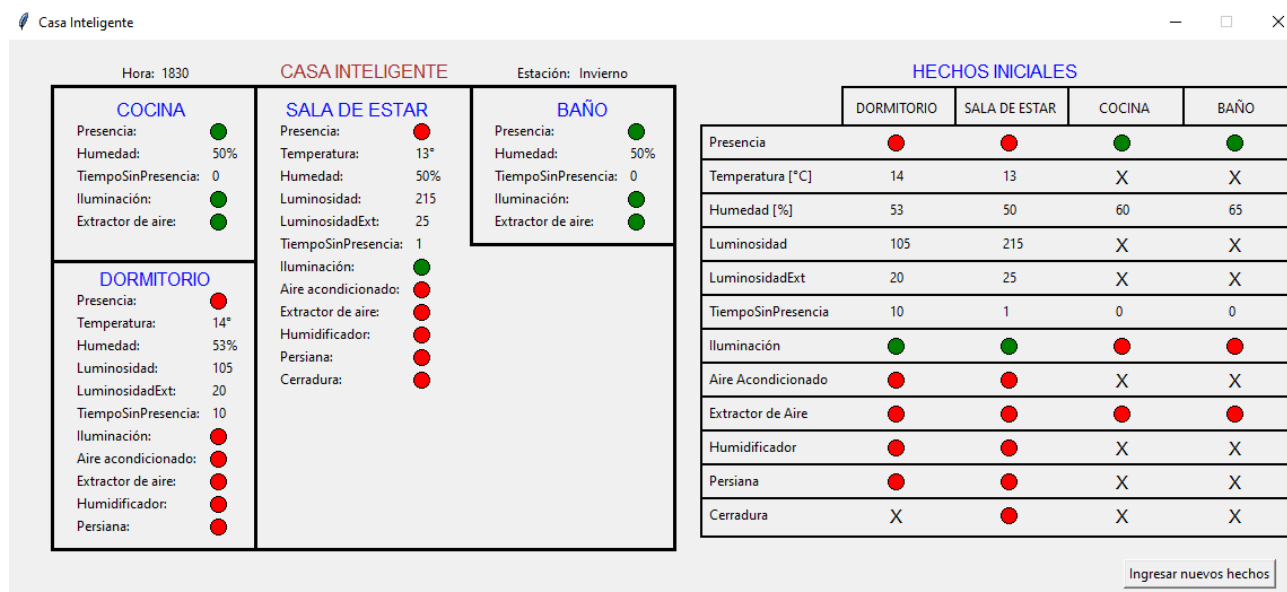


Fig. 4.10 Resultados del escenario 3.

(Fuente: Elaboración propia)

Al analizar la interfaz de la fig. 4.10 se puede apreciar que en el dormitorio como la iluminación se encuentra encendida, no se detecta personas y han transcurrido más de 5 minutos sin presencia se activa la regla de apagar dicha iluminación.

En la sala de estar al igual que en el dormitorio no se detecta personas, pero en este caso la iluminación no se apaga ya que no ha transcurrido el tiempo sin presencia necesario para que se active la regla que apaga dicha iluminación.

Por otro lado, en la cocina como se detectan personas, la iluminación se encuentra apagada y la hora se encuentra entre los rangos establecidos para el funcionamiento de la iluminación se activa la regla que la enciende, en cuanto al extractor de aire este se enciende, ya que, se activa la regla debido a que detecta presencia y la humedad relativa se encuentra por sobre el porcentaje del confort térmico.

Finalmente, en el baño como se detectan personas y la humedad relativa se encuentra por sobre el valor del confort térmico se activa la regla que enciende el extractor de aire, también al detectar presencia dentro del baño y que la hora se encuentra dentro de los rangos establecidos para el funcionamiento de la iluminación esta se enciende.

4.5. Casos posibles

Si bien ya se analizó 3 escenarios del entorno de la casa inteligente, aún existen distintos casos posibles para cada uno de los servicios.

4.5.1 Iluminación

TABLA 4.1 Casos posibles para la iluminación.

Parámetro	Dormitorio		Sala de estar		Cocina		Baño	
	Estado		Estado		Estado		Estado	
	Inicial	Actual	Inicial	Actual	Inicial	Actual	Inicial	Actual
Caso N°1. Hora: $6:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ / Estación: Verano								
Presencia	Si		No		Si		No	
TiempoSinPresencia	0 minutos		3 minutos		0 minutos		4 minutos	
Iluminación	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Caso N°2. Hora: $20:00 \leq \text{Hora} < 23:00$ / Estación: Verano								
Presencia	Si		No		Si		No	
Tiempo sin presencia	0		< 5 minutos		0		≥ 2 minutos	
Iluminación	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON	OFF
Caso N°3. Hora: $23:00$ / Estación: Verano								
Presencia	Si		No		No		Si	
Tiempo sin presencia	0 minutos		≥ 5 minutos		1 minuto		0 minutos	
Iluminación	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
Caso N°4. Hora: $23:00 < \text{Hora} < 6:00$ / Estación: Verano								
Presencia	Si		No		No		Si	
Tiempo sin presencia	0 minutos		2 minutos		5 minutos		0 minutos	
Iluminación	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
Caso N°5. Hora: $6:00 \leq \text{Hora} < 18:00$ / Estación: Invierno								
Presencia	No		Si		No		Si	
Tiempo sin presencia	7 minutos		0 minutos		3 minutos		0 minutos	
Iluminación	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Caso N°6. Hora: $18:00 \leq \text{Hora} < 23:00$ / Estación: Invierno								
Presencia	No		Si		No		Si	
Tiempo sin presencia	≥ 5 minutos		0 minutos		8 minutos		0 minutos	
Iluminación	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON
Caso N°7. Hora: $23:00 < \text{Hora} < 6:00$ / Estación: Invierno								
Presencia	Si		Si		No		No	
Tiempo sin presencia	0 minutos		0 minutos		4 minutos		3 minutos	
Iluminación	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF

Dentro de los casos de la tabla 4.1 hay dos casos para tener en cuenta, estos son los casos N°4 y N°7. En estos es posible ver que existe una falla en cuanto a la activación de la iluminación, esto debido a que luego de las 23:00 horas la regla no enciende la iluminación de la habitación por si hay

personas durmiendo dentro de ella. Por lo que la única forma de encender dicha iluminación en horas posteriores a las 23:00 horas es hacerlo de forma manual.

4.5.2 Climatización

Para entender de mejor manera el cómo se activan o desactivan los actuadores, los casos pertenecientes a la climatización se separó en dos, la tabla 4.2 serán los relacionados a la temperatura ambiente y en la tabla 4.3 los relacionados a la humedad relativa.

TABLA 4.2 Casos posibles para la climatización (temperatura ambiente).

Parámetro	Dormitorio		Sala de estar	
	Estado		Estado	
	Inicial	Actual	Inicial	Actual
Caso N°1. Hora: $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ / Estación: Verano				
Presencia	No		Si	
Temperatura ambiente	$> 25^\circ$	$> 25^\circ$	$> 25^\circ$	24°
Aire acondicionado	OFF	OFF	OFF	ON
Caso N°2. Hora: $20:00 \leq \text{Hora} < 8:00$ / Estación: Verano				
Presencia	Si		No	
Temperatura ambiente	20°	20°	$> 21^\circ$	$> 21^\circ$
Aire acondicionado	ON	OFF	OFF	OFF
Caso N°3. Hora: $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$ / Estación: Invierno				
Presencia	Si		Si	
Temperatura ambiente	$< 20^\circ$	21°	21°	21°
Aire acondicionado	OFF	ON	ON	OFF
Caso N°4. Hora: $20:00 \leq \text{Hora} < 8:00$ / Estación: Invierno				
Presencia	No		Si	
Temperatura ambiente	$< 16^\circ$	$< 16^\circ$	$< 16^\circ$	17°
Aire acondicionado	OFF	OFF	OFF	ON

TABLA 4.3 Casos posibles para la climatización (humedad relativa).

Parámetro	Dormitorio		Sala de estar		Cocina		Baño	
	Estado		Estado		Estado		Estado	
	Inicial	Actual	Inicial	Actual	Inicial	Actual	Inicial	Actual
Caso N°1. Estación: Verano								
Presencia	Si		No		No		Si	
Humedad relativa	$< 45\%$	45%	$< 45\%$	$< 45\%$	$> 60\%$	$> 60\%$	$> 60\%$	60%
Extractor de aire	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
Humidificador	OFF	ON	OFF	OFF	X	X	X	X

Caso N°2. Estación: Invierno								
Presencia	No		Si		Si		No	
Humedad relativa	> 50%	> 50%	> 50%	50%	> 50%	50%	> 50%	> 50%
Extractor de aire	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
Humidificador	OFF	OFF	OFF	ON	X	X	X	X

4.5.3 Seguridad

El servicio de seguridad solo controla la iluminación de la sala de estar, por lo que la iluminación de las otras habitaciones no se tendrá en cuenta al momento de presentar los distintos casos.

TABLA 4.4 Casos posibles para la seguridad.

Parámetro	Dormitorio		Sala de estar		Cocina		Baño	
	Estado		Estado		Estado		Estado	
	Inicial	Actual	Inicial	Actual	Inicial	Actual	Inicial	Actual
Caso N°1. Hora: 1:00 < Hora < 22:00								
Presencia	Si		No		No		No	
Iluminación	X	X	OFF	OFF	X	X	X	X
Cerradura	X	X	OFF	OFF	X	X	X	X
Caso N°2. Hora: 1:00 < Hora < 22:00								
Presencia	No		No		No		No	
Iluminación	X	X	OFF	OFF	X	X	X	X
Cerradura	X	X	OFF	ON	X	X	X	X
Caso N°3. Hora: 22:00 ≤ Hora < 1:00								
Presencia	No		Si		Si		No	
Iluminación	X	X	OFF	OFF	X	X	X	X
Cerradura	X	X	OFF	OFF	X	X	X	X
Caso N°4. Hora: 22:00 ≤ Hora < 1:00								
Presencia	No		No		No		No	
Iluminación	X	X	OFF	ON	X	X	X	X
Cerradura	X	X	OFF	ON	X	X	X	X
Caso N°5. Hora: 1:00								
Presencia	No		No		No		No	
Iluminación	X	X	ON	OFF	X	X	X	X
Cerradura	X	X	ON	ON	X	X	X	X

4.5.4 Confort Doméstico

TABLA 4.5 Casos posibles para el confort doméstico.

Parámetro	Dormitorio		Sala de estar	
	Estado		Estado	
	Inicial	Actual	Inicial	Actual
Caso N°1. Hora: $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$				
Luminosidad	50		45	
Luminosidad externa	20		30	
Persiana	ON	ON	ON	ON
Caso N°2. Hora: $8:00 \leq \text{Hora} < 20:00$				
Luminosidad	30		35	
Luminosidad externa	60		60	
Persiana	ON	OFF	ON	OFF
Caso N°2. Hora: $20:00$				
Luminosidad	100		100	
Luminosidad externa	5		6	
Persiana	OFF	ON	OFF	ON

En el caso N°1 al no ser mayor la luminosidad externa que la de dentro de las habitaciones, las persianas se mantienen activadas (cerradas).

En el caso N°2 como es mayor la luminosidad externa que la interior en ambas habitaciones, las persianas se desactivan (abren).

En el caso N°3 como la hora es igual a las 20:00 horas, las persianas se activan (cierran).

Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Conclusiones

Al momento de diseñar una casa inteligente un sistema basado en reglas es una buena opción de implementación, en este trabajo logró comprobar que si se diseñan las reglas necesarias es posible cumplir con las distintas preferencias que requiere el usuario de una vivienda según su rutina o estilo de vida, demostrando así la gran adaptabilidad de estos tipos de sistemas. Por ejemplo, en el caso del control ambiental del hogar mejora el ahorro energético al darle uso a la iluminación y climatización solo cuando es completamente necesario y no ocupar recursos de forma innecesaria cuando no se encuentre alguna persona en una habitación.

Luego de haber diseñado el sistema basado en reglas, se puede apreciar que los sensores y los actuadores son una pieza clave para este tipo de sistemas. En el caso de los sensores es necesaria la implementación de distintos tipos de sensores que sean necesarios para captar la información de las variables según los servicios implementados en el sistema como la presencia, temperatura ambiente, entre otras. En cuanto a los actuadores estos son necesarios para cumplir con las distintas preferencias o servicios del usuario. Para el correcto funcionamiento de estos actuadores es necesario ser cuidadoso al momento de establecer las condiciones para las distintas reglas, ya que, de lo contrario puede haber situaciones que no sean cubiertas por las reglas planteadas. Por ejemplo, el no generar una regla que apague un dispositivo en concreto, esto generaría un gasto de energía innecesario. O también el caso de que pueda generarse un conflicto entre algunas reglas.

En relación con el usuario, este tipo de sistemas le facilita una serie de tareas diarias que se suelen realizar de forma manual. En este caso el sistema presenta un alto nivel de automatización de tareas por lo que se reduce el esfuerzo y tiempo que las personas usan al cumplir estas tareas y también de los posibles errores que podían llegar a cometer lo que genera una constante preocupación en las personas. Por ejemplo, en el servicio relacionado a la seguridad el hacer abandono de la vivienda y no colocar el seguro a la puerta principal lo cual ya no es problema con la implementación de la cerradura inteligente.

5.2. Trabajos futuros

Para los trabajos futuros está el recabar datos de entrada (o hechos en este caso) mediante la implementación de sensores, con el fin de aplicar el sistema basado en reglas ante un comportamiento de los hechos que ocurrirían en el transcurso del día en una vivienda promedio y ejecutar los servicios mediante la implementación de actuadores.

También añadir nuevos servicios al sistema diseñado que puedan ofrecer una casa inteligente y no se han implementado de momento ya sea en otro tipo de servicio, agregar nuevas acciones en los servicios ya implementados en el sistema, cubrir nuevas situaciones en la vivienda o la implementación de nuevas tecnologías.

Una opción viable es implementar el sistema en una aplicación web, de modo que cualquiera mediante un enlace pueda visualizar los distintos hechos iniciales y resultantes que se vayan generando en el proceso, de esta manera el usuario puede tener una mayor accesibilidad al sistema. Para este mismo fin se podría crear una aplicación móvil con la cual el usuario pueda acceder al sistema.

Bibliografía

- [1] Grosan, C., Abraham, A. “*Rule-Based Expert Systems. In: Intelligent Systems*”. Intelligent Systems Reference Library, vol 17. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [2] Díez, J. J. “*Sistemas Inteligentes T6: Sistemas Basados en Reglas*”. Oviedo: Universidad de Oviedo, 2010.
- [3] Cabrera, L. V. “*Sistemas Basados en Reglas*”. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2010-2011.
- [4] Gil Vera, Víctor & Montoya Suarez, Lina & Henao, Gabriel. “*Sistema experto para el diagnóstico del Cáncer de Próstata*”, 2017.
- [5] S. Puspitaningsih, Suryono and Farikhin, “*Design and Implementation of an Emergency Pregnancy Referral System Using Rule-Based Expert System Forward Chaining Method*,” 2021 Sixth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), pp. 1-5, 2021.
- [6] Harold A. Ch., “*Sistema Experto para el Diagnostico de Enfermedades Respiratorias en el Hospital Central de la policía Nacional Del Perú Luis N. Sáenz*”, Memoria de Titulo, Ingeniero de Sistemas y Computo, Septiembre 2017, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Computo y Telecomunicaciones, Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- [7] Moya-Rodríguez, Jorge Laureano, Becerra-Ferreiro, Ana María, & Chagoyén-Méndez, César A. “*Utilización de Sistemas Basados en Reglas y en Casos para diseñar transmisiones por tornillo sin fin*”, 2012.
- [8] D. M. Minhas, J. Meiers and G. Frey, “*A Rule-based Expert System for Home Power Management Incorporating Real-Life Data Sets*,” 2022 3rd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE), pp. 1-6, 2022.
- [9] X. Wu, “*Application of rule-based expert system in ATC simulator evaluation system*”, 2020 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS), pp. 226-229, 2020.
- [10] T. Ledeneva and A. Reshetnikov, “*Expert System for Assessing the Indoor Climate*,” 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), pp. 711-714, 2021.
- [11] Chao Li, Lijun Suna, Xiangpei Hua, “*A context-aware lighting control system for smart*

- meeting rooms*”, Systems Engineering Procedia, Volume 4, Pages 314-323, ISSN 2211-3819, 2012.
- [12] Daniel Escobar Flores, “*Sistema Experto de Recomendación de Cervezas*”, Memoria de Titulo, Ingeniero Civil en Telecomunicaciones, Enero 2018, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería, Universidad de Concepción.
- [13] C. Mavropoulos y Ping-Tsai Chung, “*A rule-based Expert System: Speakeasy - Smart Drink Dispenser*”, IEEE Long Island Systems, Applications and Technology (LISAT) Conference 2014, pp. 1-6, 2014.
- [14] MATLAB, “*Redes Neuronales*,” [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/discovery/neural-network.html>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [15] MATLAB, “*Fuzzy Logic Toolbox*,” [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html#fuzzy-logic-simulink>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [16] Python, “*Python*,” [En línea]. Available: <https://www.python.org/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [17] SWI-Prolog, “*Características de SWI-Prolog*,” [En línea]. Available: <https://www.swi-prolog.org/features.html>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [18] Clips, “*Clips, a Tool for Building Expert Systems*,” [En línea]. Available: <https://www.clipsrules.net/> [Último acceso: Mayo 2022].
- [19] Friedman-Hill, E J. “*Jess, the Java expert system shell*”. United States, 1997.
- [20] Mora García, Luis Aníbal, “*Programación Lineal Aplicada*”, 2da Edición, 2017.
- [21] Mora Escobar H. “*Programación Lineal*”, 1997.
- [22] Díaz López, Ernesto, Martínez Prieto, Adrián, & Gálvez Lio, Daniel. Una implementación de la meta-heurística “*Optimización en Mallas Variables*” en la arquitectura CUDA. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 10(3), 42-56, 2016.
- [23] Cortés, P. Delgado, M. Muñuzur, J. Onieva, L. “*Una revisión sobre los sistemas multiagente en la ingeniería de Organización*”, in XII Congreso de Ingeniería de Organización, Burgos, España, 2008.

- [24] David Vallejo Fernández, “*MASYRO: Un sistema multi-agente para la optimización del renderizado*”, Memoria de Titulo, Ingeniería en Informática, Septiembre 2006, Departamento de Informática, Universidad de Castilla – La Mancha Escuela Superior de Informática.
- [25] Cruz, C. Cordero, J. López, J. “*Casa Inteligente*”, Seminario de Titulación, Administración de Proyectos, Febrero 2009, Instituto Politécnico Nacional.
- [26] Blancheth, A., “*Casa Inteligente*”, Memoria de Titulo, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Noviembre 2013, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- [27] Rodrigo A. de Marcos, “*Sistema Domótico para una casa inteligente*”, Memoria de Titulo, Ingeniero Industrial, Mayo 2013, Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- [28] Martha M. Carvajal A., Ana I. Ramos I., “*Diseño e Implementación de un sistema de Control y Seguridad en tiempo real de una vivienda inteligente*”, Memoria de Titulo, Ingeniero en Electrónica y Computación, 2010, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [29] Hubot, [En línea]. Available: <https://hubot.cl/producto/sensor-movimiento-infrarrojo-pir-hc-sr501/> [Último acceso: Septiembre 2022].
- [30] Santiago Lima C., Kevin M. Meneses G., “*Sistema de alarma para vivienda unifamiliar gestionada telemáticamente*”, Memoria de Titulo, Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, 2017, Universidad de La Laguna.
- [31] IDAE, “*Bienestar térmico en un espacio climatizado,*” [En línea]. Available: <https://www.idae.es/index.php/articulos/bienestar-termico-en-un-espacio-climatizado>. [Último acceso: Septiembre 2022].
- [32] ENDESA, “*Temperatura ideal para tu casa: diurna, nocturna y por si hay bebés,*” [En línea]. Available: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/climatizacion/temperatura-recomendada-hogar>. [Último acceso: Septiembre 2022].
- [33] Altronics, [En línea]. Available: <https://altronics.cl/modulo-gy-302-bh1750> [Último acceso: Agosto 2023].