

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE ESMERALDAS

ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



TESIS DE GRADO

TÍTULO:

MARCO DE TRABAJO PARA DESARROLLO DE SISTEMAS BASADOS
EN COLECTIVOS DE HUMANOS-AGENTES (HAC)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

SISTEMAS INTELIGENTES

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y
COMPUTACIÓN

AUTOR:

ZAMORA ZAMBRANO JOSÉ JOAQUÍN

ASESOR:

PICO VALENCIA PABLO, PhD.

ESMERALDAS - 2020

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN.

.....
PhD. Pablo Pico Valencia

Tutor de Tesis

.....
Mgt. Evelin Flores García

Lector 1

.....
Mgt. Manuel Nevárez Toledo

Lector 2

.....
Mgt. Susana Patiño Rosado

Coordinadora de la Escuela de Sistemas y Computación

AUTORÍA

Yo, JOSÉ ZAMORA ZAMBRANO portador de la cédula de identidad No. 0803233287 declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento como informe final, previo a la obtención del título de “Ingeniero de Sistemas y Computación” son absolutamente originales, auténticos y personales.

En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de mi sola, exclusiva responsabilidad legal y académica.

.....
José Joaquín Zamora Zambrano

C.I. 080323328-7

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir esta etapa de mi vida, en segundo lugar, se la dedico a mi papá, Joaquín Zamora García y a mi mamá Enma Zambrano Góngora, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, inculcándome valores y virtudes que en mi vida son simplemente invaluable, y por último a mi hija que es mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de tesis.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por permitirme terminar esta etapa tan importante en mi vida y poder disfrutar de la maravillosa familia que tengo.

Gracias a mis padres por motivarme día a día para ser una mejor persona y no darme por vencido frente a las adversidades que se presentan en la vida.

A mi esposa por sus palabras y confianza en mí, por su amor, dedicación y brindarme el tiempo necesario para terminar mi carrera con éxito.

A mis hermanos Junior, Andrés y Joan Zamora, por sus palabras y compañía a diario y por motivarme a crecer profesionalmente.

A mis amigos por permitirme aprender más de la vida a su lado, por haber sido mi segunda familia en Esmeraldas y por ayudarme a salir adelante en momentos duros que se presentaron en nuestra estancia en las aulas de clases.

A mi universidad por permitirme formarme en ella, gracias a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta y que aportaron su granito de arena para que pueda alcanzar mi título profesional.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo como finalidad el diseño y desarrollo de un marco de trabajo para un sistema de colectivo de agentes y humanos (HAC), el cual debe cumplir con ciertas características y patrones que definen a este tipo de sistemas.

Para la ejecución de este proyecto fue necesaria la revisión bibliográfica de proyectos con objetivos y temáticas similares al presente, además del análisis de tecnologías necesarias para cumplir con éxito la ejecución de un proyecto de estas características. Luego se realizó el diseño de cada una de las características de los colectivos de agentes y humanos (autonomía flexible, equipo ágil, ingeniería de incentivos e infraestructura de información responsable), además del análisis de los protocolos de comunicación entre agentes necesarios para el diseño de los patrones de interacción Humano-Agente.

En el desarrollo del proyecto se implementaron técnicas de ingeniería de software para la obtención de los requerimientos funcionales y no funcionales propios del sistema, los cuales sirvieron para tener una mejor perspectiva de lo que realmente se quería realizar. Además, se crearon interfaces gráficas e interactivas con el usuario para una mejor experiencia.

Los resultados de la evaluación cuantitativa del sistema evidenciaron la factibilidad técnica para implementar, a través de una herramienta de software, las cuatro características típicas de un sistema HAC. Se evaluó estas características en un sistema integrado a través de tres variables como son rendimiento, capacidad y usabilidad. En lo relacionado a rendimiento, el sistema dio una respuesta en 52.93 segundos en promedio. Asimismo, en lo que respecta a la usabilidad, se obtuvo un porcentaje mayor al 80% de efectividad, una eficiencia de 0.03 tarea/segundo y un alto grado de satisfacción por parte de los usuarios al usar el sistema. Esto, en conjunto con los resultados de la evaluación cualitativa de las características implementadas respecto a las propuestas por un sistema HAC, demostraron tener un gran potencial para ayudar en la gestión de escenarios de peligro y a futuro permitiría la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas.

Palabras clave: colectivo, multi-agente, comunicación, patrones.

ABSTRACT

The purpose of this research work was to design and develop a framework for a system of collective agents and humans (HAC), which must comply with certain characteristics and patterns that define this type of system.

For the execution of this project, it was necessary to review the bibliography of projects with similar objectives and topics to the present one, as well as the analysis of technologies needed to successfully carry out a project of these characteristics. Then the design of each of the characteristics of the groups of agents and humans (flexible autonomy, agile team, incentive engineering and responsible information infrastructure) was carried out, in addition to the analysis of the communication protocols between agents necessary for the design of the patterns of human-agent interaction.

In the development of the project, software engineering techniques were implemented to obtain the functional and non-functional requirements of the system, which served to have a better perspective of what we really wanted to achieve. In addition, graphic and interactive interfaces were created with the user for a better experience.

The results of the quantitative evaluation of the system showed the technical feasibility to implement, through a software tool, the four typical characteristics of a HAC system. These characteristics were evaluated in an integrated system through three variables such as performance, capacity, and usability. In terms of performance, the system gave a response in 52.93 seconds on average. Likewise, regarding usability, a percentage greater than 80% of effectiveness was obtained, an efficiency of 0.03 tasks per second and a high degree of satisfaction on the part of the users when using the system. This, together with the results of the qualitative evaluation of the characteristics implemented with respect to those proposed by an HAC system, demonstrated a great potential to help in the management of danger scenarios and in the future would allow the incorporation of new technological tools.

Keywords: collective, multi-agent, communication, patterns.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	II
AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	1
INTRODUCCIÓN	5
1.1. PRESENTACIÓN DEL TEMA	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
1.4. OBJETIVOS	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.5. ESTRUCTURA	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS	10
2.2.1. COLECTIVOS DE HUMANO – AGENTE (HAC)	10
2.2.1.1. DEFINICIÓN	10
2.2.1.2. PRINCIPALES ASPECTOS.....	11
2.2.2. AGENTE Y SISTEMAS MULTIAGENTES.....	16
2.2.2.1. AGENTE SIMPLE	16
2.2.2.2. SISTEMA MULTIAGENTE.....	17
2.2.2.3. ARQUITECTURA DE AGENTE	18
2.2.2.4. PLATAFORMAS Y FRAMEWORKS PARA EL DESARROLLO DE AGENTES	21
2.2.2.5. INTERACCIONES EN HAC.....	22
2.3. MARCO LEGAL	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	29
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.3. ESPECIFICACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	29
3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN	30
3.5. MATERIALES (HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS EMPLEADAS)	30
CAPÍTULO IV: PROPUESTA	32
4.1. ANÁLISIS DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN AGENTE – AGENTE	32
4.2. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	33
4.3. DISEÑO DE PATRONES	33
4.4. IMPLEMENTACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA HAC	37
CAPÍTULO V: RESULTADOS	41
5.1. ESCENARIO DE DESARROLLO	41
5.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	42
5.3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	43
5.3.1. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HAC DEL SISTEMA	43

5.4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE CALIDAD DEL SOFTWARE	50
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA	50
EVALUACIÓN DE LA USABILIDAD	52
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN.....	56
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
7.1. CONCLUSIONES	58
7.2. RECOMENDACIONES	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura reactiva. Fuente: [20]	19
Figura 2. Arquitectura deliberativa BDI. Fuente: [20].	20
Figura 3. Arquitectura de Jade. Fuente: [23].	22
Figura 4. Interacción Intermediaria / Proxy. Fuente:[29].	24
Figura 5. Interacción Supervisada / Asesorada. Fuente:[29].	24
Figura 6. Remoto / Tele-interacción. Fuente:[29].	25
Figura 7. Interacción con intermediarios consolidados. Fuente:[29].	26
Figura 8. Interacción Consultiva Consolidada. Fuente:[29].	26
Figura 9. Piscina Común. Fuente:[29].	27
Figura 10. Diseño Interfaces interacción intermediaria	34
Figura 11. Diseño interfaces interacción supervisada	34
Figura 12. Diseño interfaces tele-interacción	35
Figura 13. Diseño interfaces interacción con intermediarios consolidados	35
Figura 14. Diseño Interfaces Interacción Consultiva Consolidada	36
Figura 15. Diseño interfaces piscina común.....	36
Figura 16. Implementación de patrón de interacción supervisada	37
Figura 17. Interfaz principal del sistema SIECE	38
Figura 18. Agente de software.....	38
Figura 19. Asignación de tareas	39
Figura 20. Retribución por tarea realizada	40
Figura 21. Simulación del entorno	41
Figura 22. Diagrama de secuencia del sistema.....	42
Figura 23. Evaluación del rendimiento del sistema.....	51
Figura 25. Efectividad del sistema	53
Figura 26. Evaluación de la satisfacción	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las variables	30
Tabla 2. Protocolos utilizados para creación de patrones.....	32
Tabla 3. Evaluación de la autonomía flexible	44
Tabla 4. Evaluación de equipo ágil.....	45
Tabla 5. Evaluación de ingeniería de incentivos	47
Tabla 6. Evaluación de infraestructura de la información responsable	48

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación del tema

El presente trabajo de investigación titulado “Marco de trabajo orientado al desarrollo de sistemas basados en colectivos de humanos – agentes (HAC)” está enfocado en el desarrollo de un sistema de colaboración entre agentes inteligentes y seres humanos para actuar en situaciones de accidentes provocados por el hombre o desastres naturales. Es importante recalcar que el presente proyecto se enfoca en la mejora de los servicios prestados por parte de los organismos locales de Gestión de Riesgos y Emergencias de la ciudad de Esmeraldas.

1.2. Planteamiento del problema

Hoy en día los organismos locales de Gestión de Riesgos y Emergencias de la ciudad de Esmeraldas no cuentan con los medios necesarios para actuar de forma eficiente y oportuna frente a un evento fortuito provocado por la naturaleza o por el ser humano (i.e., terremotos, tsunamis, incendios, acciones de terrorismo, entre otros). En algunas ocasiones estas limitaciones se deben al escaso presupuesto que perciben estas instituciones para el equipamiento informático, transporte, equipo caminero, entre otras, que son herramientas muy importantes a la hora de actuar en estos casos.

Otro de los motivos por los cuales los organismos de Gestión de Riesgos y Emergencias no llegan a cubrir o atender todo el perímetro afectado por algún suceso fortuito, es la inadecuada utilización de los recursos de los que se dispone, provocado por la falta de información que se provee a estas instituciones o por la poca acertada toma de decisiones.

El terremoto del 16 de abril del 2016 suscitado en Ecuador dejó al descubierto que existen muchas falencias por parte de los organismos de Gestión de Riesgos y Emergencias a la hora de responder y atender al llamado de las zonas que necesitaban ayuda de manera urgente. En la práctica, se utilizaron los recursos para atender zonas donde el impacto del fenómeno natural era mucho menor llegando a atender a ciertas zonas altamente afectadas días después.

Esta investigación surge por la necesidad de explotar al máximo los recursos humanos (estratégico, táctico, operacional) y tecnológicos (físicos y lógicos) que poseen los organismos de Gestión de Riesgos y Emergencias para realizar una eficiente intervención frente a posibles sucesos que se presenten de forma repentina. Mediante la implementación de un marco de trabajo se modelaron los sistemas que habilitan la colaboración entre humanos y agentes de software para la planificación del uso de los recursos disponibles y de esta forma brindar apoyo de forma eficiente, oportuna y simultánea a todas las zonas afectadas.

1.3. Justificación

Numerosos avances en el campo tecnológico han surgido en las últimas décadas. El ser humano ha aprovechado cada una de estas nuevas tecnologías desde una perspectiva práctica para mejorar procesos que se realizan a diario tanto en las instituciones privadas como en las públicas, obteniendo mejores resultados que los obtenidos al realizar procesos completamente manuales y sin apoyo de la tecnología, reduciendo así la carga de trabajo físico que realiza el personal.

La automatización de los procesos en las distintas áreas de las instituciones ha producido una disminución en los gastos que generan anualmente estos organismos, aumentando sus ingresos de forma considerable.

Los organismos de Gestión de Riesgos y Emergencias son un conjunto de instituciones que prestan ayuda en casos de accidentes o daños producidos por fenómenos naturales. Debido a la extensa área que deben cubrir estas entidades, se han visto en la necesidad de recurrir a la tecnología como un aliado muy importante para realizar todos sus procesos de forma eficiente. Es por tal motivo que se desarrolló este proyecto.

En términos generales, el proyecto brindó información adecuada a las personas encargadas de tomar decisiones estratégicas, tácticas y operacionales dentro de estos organismos, mediante la implementación de sistemas HAC, donde intervienen y existe el apoyo mutuo entre personas y agentes inteligentes de naturaleza virtual. Así, los agentes inteligentes sirvieron de apoyo proveyendo información y conocimiento a las personas para que tomen decisiones más acertadas y en menos tiempo; y de

forma inversa; es decir, que las personas, con su conocimiento, supervisaron las acciones que los agentes software ejecutaron en cada momento.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un marco de trabajo para facilitar la creación y administración de colectivos de agentes y humanos mediante el uso de herramientas orientadas a la programación de agentes y tecnologías web emergentes.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar los aspectos que describen a un sistema HAC (autonomía flexible, equipo ágil, ingeniería de incentivos e infraestructura de información responsable) y diseñar un mecanismo que automatice dichos aspectos.
- b) Determinar los principales patrones de interacción posibles para modelar sistemas de colectivos de agentes y humanos.
- c) Implementar los mecanismos que automaticen las características y los patrones de interacción modelados por un sistema HAC a través de la creación de un marco de trabajo desarrollado en Java.
- d) Validar el marco de trabajo propuesto a través del desarrollo de un sistema HAC aplicando técnicas de simulación para la definición de un escenario de acción.

1.5. Estructura

Este informe de investigación está estructurado en 4 capítulos. El primer capítulo “Marco teórico” describe las bases conceptuales y antecedentes en relación con los sistemas HAC y su uso en aplicaciones reales. El segundo capítulo “Metodología” describe los materiales y métodos empleados para llevar a cabo la investigación. La propuesta, enfocada en la implementación de los principales patrones de interacción humano-agente, así como la implementación de las características de los sistemas HAC, es descrita en el capítulo “Propuesta”. Los resultados de la investigación son

descritos en el capítulo “Resultados” y su respectiva discusión es detallada en el capítulo “Discusión”. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones son descritas en el capítulo “Conclusiones y recomendaciones”.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En esta sección se presentan varios trabajos de investigación que están rigurosamente relacionados con el tema de investigación propuesto; esto es los sistemas de Colectivos de Humanos – Agentes (HAC), mismos que aportan significativamente a la investigación.

En la investigación de Ramchurn et al. [1], se hace referencia al desarrollo de algoritmos y mecanismos para el rescate y atención de zonas afectadas por eventos fortuitos (causados por el hombre o la naturaleza), donde los agentes inteligentes son capaces de gestionar toda la información que se obtiene del entorno y compartirla con socorristas, médicos, personal de seguridad y equipo de búsqueda y rescate, que se envían a las zonas afectadas para ayudar a salvar vidas e infraestructuras.

La implementación del modelo planteado por Ramchurn et al. se divide en tres fases:

- Desarrollar un proceso de decisión multiagente para representar el problema de coordinación del equipo, es decir, planificar las rutas y asignar tareas a todos los que intervienen en los procesos de rescate.
- Evaluar la coordinación del equipo en situaciones de incertidumbre, centrado especialmente en la colaboración entre agentes y humanos.
- Realizar pruebas de campo con los agentes de planificación, utilizando mensajes de telefonía móvil en escenarios de respuesta a desastres en diferentes pruebas de campo.

Por otro lado, Kim et al. [2], describen una novedosa organización robótica que permite a los humanos, robots y agentes trabajar en conjunto para automatizar las tareas de cosecha y recolección de cultivos y frutas. En este trabajo se modela, diseña e implementa la colaboración robot-a-robot basándose en el conocimiento y humano-a-robot para la recolección agrícola.

En resumen, en Kim et al. [2], se propone una arquitectura de agente inteligente que utiliza sensores para automatizar el proceso de cosecha y la recolección de cultivos, eliminando de esta forma el trabajo físico en los campos. La implementación

de estos modelos inteligentes, en el campo agrícola traen consigo un gran aumento en la producción a bajo costo e incrementan los ingresos de forma considerable.

Finalmente, la investigación de Wagoner [3] se centra en la implementación de robots para la extinción de incendios, que puedan ser controlados de forma remota por operadores humanos. Los robots en este caso particular están en la capacidad de monitorear, ubicar y extinguir el incendio en el menor tiempo posible, precautelando en todo momento la integridad del ser humano.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Colectivos de humano – agente (HAC)

Durante toda su vida, el ser humano está expuesto a diferentes clases de peligros en los distintos campos de trabajo en los que se desenvuelve. Frente a esto siempre se busca la forma óptima para la solución de los mismos. Sin embargo, no siempre se obtienen los resultados esperados que se plantean desde un inicio. En la mayoría de los casos depende mucho de los procedimientos y herramientas utilizadas.

En su necesidad de mejorar el alcance en la resolución de problemas, el ser humano incluye la participación de entidades inteligentes (agentes software), para que de manera conjunta busquen los mecanismos adecuados que mejoren el rendimiento de los actores y brinden respuestas que estén acorde a las metas planteadas en principio.

Los agentes tienen la habilidad de comprender el entorno en el que se encuentran y obtener datos procesables que le permitan actuar frente a posibles problemas que se susciten. Tanto humanos como agentes pueden actuar de forma independiente frente a un problema en común. Asimismo, existen casos en los que ambos necesitan de la colaboración para emitir una respuesta.

2.2.1.1. Definición

Un sistema de colectivo humano-agentes (*Human – Agent Collective*, HAC, por sus siglas en inglés), es aquel que modela la cooperación entre el ser humano y agentes de software inteligentes para llevar a cabo procesos de toma de decisiones que

permitan alcanzar metas individuales y en conjunto, incrementando así la efectividad en la realización de tareas de la vida cotidiana y servir de apoyo ante posibles casos de emergencia o un eventual desastre natural [4].

Básicamente un sistema HAC consiste en el soporte mutuo entre el ser humano y un agente o conjunto de agentes, reduciendo de manera significativa costos de movilización, mejor manejo de la información y evitar posibles riesgos de accidente.

2.2.1.2. Principales aspectos

Es importante resaltar los aspectos esenciales de los sistemas HAC, debido a que permiten comprender los posibles comportamientos de los actores que intervienen en los colectivos de agentes y humanos frente a problemas reales.

Autonomía flexible

Los agentes en ciertas ocasiones deben estar en la capacidad de tomar sus propias decisiones sin necesidad de recurrir a la participación de un ser humano, ya que deben mantener cierto nivel de control sobre sus acciones. La toma de decisiones de un agente depende en gran medida del marco en el que se desarrolla, procurando mantener siempre un alto grado de eficiencia en la resolución de problemas [5]. Así, en caso de desastres, los agentes y humanos son responsables de las tareas que le son asignadas por lo que ambas deben asegurar el correcto manejo de la información que se les provee [1].

Entre los desafíos que se plantea la ciencia en la actualidad se encuentra el dotar de habilidades a los agentes físicos y de software, para que sean capaces de desenvolverse en entornos complejos y brindar la respuesta que más se ajuste al problema. Según Kim et al. [6] si un agente se encuentra ante situación de peligro real y entre sus funciones o habilidades no se encuentra la resolución del mismo, simplemente el agente ignoraría este problema quedando sin resolverse.

En Mostafa et al. [7] se plantea la creación e implementación de un sistema inteligente, en el cual la autonomía flexible de un agente es definida como una variable dinámica para poder cambiarla de estado o realizar un autoajuste por parte de los actores que intervienen dependiendo el problema que se suscite en algún

momento dado. De esta manera se optimizan los recursos del sistema y se evita la sobrecarga de trabajo a los agentes y humanos que actúan en la resolución de problemas en conjunto.

En resumen, la autonomía flexible en sistemas complejos puede ser aplicada para la toma de decisiones determinantes en casos de suma urgencia, para los cuales no se cuenta con un plan y se presentan de forma inesperada, donde la vida del ser humano corre peligro o su entorno puede sufrir algún daño significativo.

Algunos escenarios en los que este aspecto contribuye son los siguientes: (i) sistemas para la gestión de desastres naturales, (ii) sistemas de gestión de desastres provocados por el hombre y (iii) gestión de epidemias y pandemias.

Con respecto a los sistemas para la gestión de desastres naturales, el nivel de aplicación de la autonomía flexible de agentes y humanos está determinada por la magnitud de los daños o apremio que requieran ciertas zonas afectadas. Al presentarse un desastre natural los agentes físicos (i.e., vehículo aéreo no tripulado (VANT) o robots) analizan el entorno y en base a esos datos obtenidos emiten una respuesta para la activación de planes de rescate y ayuda inmediata a zonas que han sufrido mayor daño. Por otra parte los seres humanos al ser actores mucho más razonables y conscientes de la situación a la que se enfrentan, toman decisiones que permitan actuar de forma equitativa en todo el perímetro afectado [8].

Otro campo que aplica con mucha frecuencia la autonomía flexible es la gestión de desastres provocados por el hombre, que se refiere a toda acción inducida por el ser humano, que afecta o amenaza contra la integridad de la vida de un ser, ya sea de forma deliberada o por accidente. En muchos casos estas acciones no son realizadas de forma directa por el hombre, sino que ocurren por fallas en máquinas creadas por él. Tanto el humano como el agente reaccionan a estas situaciones de manera coordinada, manteniendo siempre control sobre la toma de sus propias decisiones [3].

Asimismo, la autonomía flexible de agentes y humanos para la gestión de epidemias y pandemias es otro de los escenarios planteados en este trabajo investigativo por su alto impacto en la sociedad y economía de los pueblos. La aplicación de este aspecto se enfoca en el análisis de la incidencia de un caso viral, para tomar las medidas a tiempo antes de que se convierta en un caso de pandemia. De forma particular, en este campo, los agentes analizan la frecuencia con que se

presenta el problema epidemiológico y las zonas donde existe mayor incidencia de personas contagiadas del virus y en base a estos datos el agente toma decisiones de forma autónoma. Por otro lado, el ser humano se basa en el estudio de los datos obtenidos del entorno para ejecutar planes de intervención y prevención por parte de instituciones de la salud [9].

Equipo ágil

Frente a un eventual problema tanto agentes como humanos tienen como objetivo buscar la solución más adecuada para resolverlo en el menor tiempo posible. Sin embargo, no en todos los casos los problemas se pueden resolver por separado, es por ello que se necesita de la asociación entre el ser humano y agente o grupos de agentes para de manera conjunta tomar las decisiones que generen resultados socialmente deseables en el momento correcto [5].

La agrupación en términos de cooperación no solo puede darse entre humano y agente, sino que también un agente puede necesitar de la ayuda de otro agente (físico o software) para resolver un problema. La cooperación se puede deshacer luego de haber finalizado las tareas con éxito y haber obtenido los resultados necesarios.

Según Ramchurn et al. [1], en el caso de sistemas complejos tanto agentes como humanos no deben realizar estas tareas por separado, ya que por su alto grado de complejidad los agentes necesitan de la supervisión, monitorización y operación de una persona. El ser humano en base a información obtenida del entorno, por parte del agente, antepone ciertas tareas sobre otras dependiendo su grado de urgencia.

En resumen, el equipo ágil en sistemas complejos es aplicado para garantizar la integridad de los actores que participan en la realización de tareas fortuitas que no cuenten con un plan de acción. Con la cooperación entre humano y agente se busca reducir el nivel de trabajo que se asigna a cada uno de los participantes de la solución del problema, logrando de esta manera obtener mejores resultados con menos trabajo realizado por cada uno de ellos [10].

Los escenarios planteados para la contribución del equipo ágil pueden también aplicarse en los mismos escenarios usados para describir el aspecto anterior, esto es,

sistemas para la gestión de desastres naturales, sistemas de gestión de desastres provocados por el hombre y gestión de epidemias y pandemias.

Los desastres naturales por la gravedad de los daños que ocasionan y por la extensa área que abarcan, necesitan brindar soluciones inmediatas en todo el perímetro afectado y en el menor tiempo posible. Es por ello que se ha considerado a los desastres naturales como un escenario perfecto para la aplicación del equipo ágil entre humano y agente.

Por la complejidad de ingresar y movilizarse en las zonas afectadas por un desastre natural, los agentes físicos realizan el trabajo de campo recopilando información del entorno y determinando qué zonas requieren de ayuda inmediata. Con la información obtenida por el agente o grupos de agentes, el ser humano activa planes de ayuda que estén acorde a la situación. No en todos los casos es el agente quien provee de información al ser humano para que tome decisiones, ya que puede darse el caso de que el ser humano sea quien suministre información útil o supervise una acción para que los agentes tomen decisiones exitosas [11].

En el campo de la gestión de problemas provocados por el hombre, la puesta en marcha de planes de ayuda funciona de forma similar que la gestión de desastres naturales. Humanos y agentes reciben las diferentes peticiones de asistencia a problemas provocados o accidentales que se suscitan en diferentes lugares y luego de realizar un análisis en conjunto por parte de los actores, se determina las acciones a realizar para solucionar los problemas que requieran atención urgente [3]. En el artículo de Chumachenko [9], se plantea la creación de un modelo cooperativo entre humanos y agentes, que sustituya a los modelos convencionales utilizados por la salud para la asistencia en casos de propagación epidemiológicos. Los modelos actuales tienen muchas deficiencias, ya que se apoyan únicamente en el estudio de datos estadísticos y su uso principal es la predicción de comportamientos poblacionales.

Finalmente, el equipo ágil en el campo de la detección y prevención de casos epidémicos se desarrolla mediante la asignación de tareas a cada uno de los actores que intervienen en la cooperación, pero tomando las decisiones en conjunto luego de realizar el análisis de las respuestas que más se ajusten al problema planteado. En este tipo de problemas los agentes se encargan de estudiar las zonas con más casos

reportados de haber adquirido el virus y envía esos datos al ser humano para que active planes de intervención y prevención de futuros contagios.

Ingeniería de incentivos

En muchas ocasiones los seres humanos mejoramos nuestro rendimiento al recibir incentivos o recompensas por la correcta realización de ciertas tareas. Lo mismo sucede en los sistemas HAC, al plantearse la creación de la ingeniería de incentivos por el cumplimiento de tareas de forma autónoma con resultados exitosos por parte de los actores que intervienen en este tipo de sistemas [12].

El diseño de un modelo de incentivos por las decisiones acertadas tomadas por agentes o humanos incrementa la utilidad de los actores y aumenta la probabilidad de éxito en la toma de decisiones ante futuros problemas a los que se enfrenten. Cuando los resultados obtenidos tienen mayor efecto dentro del sistema o el nivel de trabajo ha sido alto por parte de los actores, el nivel de la recompensa es mayor [13].

Existen varios métodos para conceder incentivos a los responsables de tomar de decisiones acertadas en los sistemas HAC. Entre los métodos más conocidos tenemos [14]:

- Plan de Halsey orientado a la asignación de premios o primas, en base a tareas realizadas en el menor tiempo posible o tiempo ahorrado por parte de las personas que intervienen en la solución de problemas.
- Plan Rowan tiene como objetivo dar primas por el porcentaje de tiempo ahorrado que logre cada trabajador, es decir, las primas serán diferentes para todos los trabajadores dependiendo el tiempo que se tarden en realizar sus tareas.
- Sistema de Taylor tiene como finalidad aumentar la eficiencia de los trabajadores a través de la racionalización de trabajo que realizan, evitando de esta forma la sobrecarga de trabajo y la fatiga en los obreros.

Infraestructura de información responsable

Antes de tomar algún tipo de decisión frente a un problema o desastre, es necesario validar, auditar y confirmar la veracidad de toda la información que se ha obtenido del entorno mediante la utilización de estándares de ética, y de esta manera proveer

de información confiable a las personas y agentes que brindan soluciones a cualquier tarea [1].

En la investigación de Ramchurn et al. [8] se plantea el diseño de un sistema de respuesta a desastres naturales llamado HAC-ER, para lo cual se necesita que la información que manejen agentes y humanos tenga un alto nivel de confianza. Además, se menciona que en ciertas ocasiones los agentes pueden llegar a generar información incorrecta que se difunde por el sistema. Es por ello que en HAC-ER cuenta con una herramienta de rastreo y verificación de la información que se propaga por el sistema antes de asignarlos a los actores que intervienen en las tareas de rescate.

Por ahora se desconocen otros métodos que permitan realizar el análisis y verificación de la información proveniente del exterior, pero se espera que a corto plazo se desarrollen otros mecanismos que realicen esta operación de forma eficiente y sin el peligro de difundir información falsa en algún tipo de sistema que comparta el mismo objetivo del presente proyecto.

2.2.2. Agente y sistemas multiagentes

Luego de exponer cada uno de los aspectos que forman parte de los sistemas HAC, es importante definir a los agentes y conocer los diferentes comportamientos que adoptan al ser implementados de forma individual y grupal, además de las distintas arquitecturas en las que puede estar basado su diseño.

2.2.2.1. Agente simple

Un agente es un sistema computacional capaz de tomar decisiones de forma autónoma, interactuar con el entorno donde se desenvuelve y cumplir tareas que le son asignadas. Además, un agente debe estar en la capacidad de interactuar con otros agentes en situaciones complejas donde el nivel de análisis es mucho mayor. Asimismo debe tener la capacidad de trabajar en conjunto con el ser humano para resolver problemas en común [15].

En la actualidad este tipo de tecnología está siendo muy utilizada por el ser humano, debido a la dificultad de ciertas tareas, siendo el agente una herramienta de apoyo, supervisión y corrección de errores en sistemas complejos [16].

Existen dos características principales que debe tener un agente: ser reactivo y proactivo. Reactivo para emitir una respuesta frente a un estímulo del ambiente o frente a un problema que se presenta de forma inesperada y proactivo para que puedan tomar la iniciativa en la búsqueda de soluciones a las tareas por realizar y saber en qué momento actuar [17]. Además, debe modelar otros aspectos como: sociabilidad, autonomía e inteligencia. Éstos le permiten actuar de manera coherente en un entorno donde debe colaborar con otras entidades sin necesidad de requerir la intervención del ser humano.

2.2.2.2. Sistema multiagente

En entornos complejos, se necesita de la participación de más de un agente para solucionar problemas de difícil análisis. De allí nace la implementación de sistema multiagente, el cual es un sistema conformado por un conjunto de agentes inteligentes que interactúan entre sí para la solución de un problema [18].

El nivel de éxito que logre alcanzar un sistema multiagente dependerá en gran medida de la comunicación entre los agentes que forman parte de este modelo. En los colectivos entre agentes y humanos, este tipo de sistemas se utiliza con mucha frecuencia, por el alto riesgo que corre la vida del ser humano y porque se necesita resolver más de una tarea por problema [19].

Entre las características más importantes de los sistemas multiagente están: cada agente tiene la capacidad de resolver un problema, la información no necesariamente debe estar centralizada, y la operación de las comunicaciones es asíncrona.

Respecto a las ventajas particulares de los sistemas multiagentes, algunas de ellas son las siguientes: los diferentes actores toman en cuenta el entorno donde se implementa la aplicación, las relaciones locales entre agentes pueden modelarse e investigarse, y los inconvenientes en la modelación se estructuran como subcapas o componentes.

Mostafa [7] recomienda el diseño de sistemas multiagentes con autonomía flexible ajustable que permita integrar un módulo de ajuste automático en la arquitectura de los agentes. El módulo funciona de tal forma que los agentes puedan

cambiar su nivel de autonomía dependiendo la complejidad del problema, reduciendo de esta forma la carga de trabajo del ser humano.

2.2.2.3. Arquitectura de agente

La arquitectura de un agente especifica la forma en la que se encuentran organizados todos sus componentes básicos para su correcto funcionamiento. Además, indica los mecanismos que deben ser utilizados por un agente para emitir respuestas ante posibles estímulos del entorno. Es importante el estudio de los tres tipos de arquitectura que nos ofrecen los agentes en la actualidad: reactiva, deliberativa e híbrida.

Arquitectura reactiva

La arquitectura reactiva es la arquitectura más simple para la implementación en agentes por el hecho de no utilizar sistemas complejos y mucho menos datos simbólicos para su ejecución. Tiene como principal característica la toma de decisiones con gran rapidez, pues no realiza una búsqueda profunda de los comportamientos que podría utilizar para emitir una respuesta [20].

La robótica es uno de los campos que ha optado por la implementación de esta arquitectura, ya que en este campo de estudio se utilizan agentes físicos (robots) que tienen contacto directo con el entorno. Por las dificultades que podrían presentarse en el ambiente y por lo cambiante del mismo, se necesita de respuestas inmediatas que puedan solucionar los problemas que se presenten. Todos estos inconvenientes se pueden resolver con la arquitectura reactiva ilustrada en la Figura 1, que se caracteriza por la agilidad de sus procesos [21].

Las principales características de esta arquitectura son: no tiene un historial de los estímulos del entorno, tiene un sistema de reglas, la representación del entorno es interna, y sus acciones ya están definidas.

En lo relacionado a las limitaciones que se presentan en esta arquitectura, estas son las siguientes: se lleva el registro de situaciones en el sistema de reglas, no tiene

la capacidad de razonar, no planifica sus tareas a largo plazo, y su aprendizaje no es continuo.

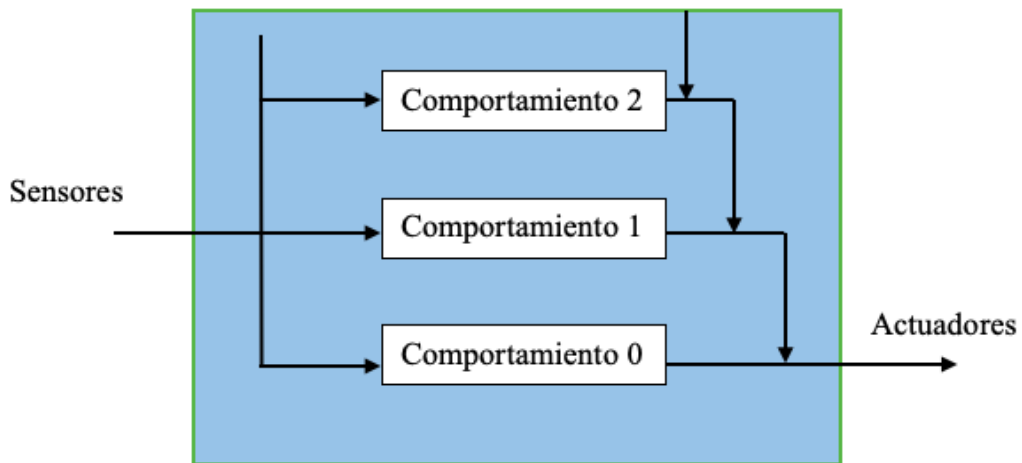


Figura 1. Arquitectura reactiva. Fuente: [20]

Arquitectura deliberativa

Un agente con arquitectura deliberativa es mucho más complejo que un agente con arquitectura reactiva, ya que emplea modelos para la representación del conocimiento de forma simbólica. Las decisiones tomadas por los agentes de este tipo suelen llevar mucho más tiempo que en otras arquitecturas. Esto se debe a que deben recopilar y valorar todos los posibles comportamientos antes de emitir una respuesta [20].

Antes de la implementación de una arquitectura deliberativa, se deben obtener los datos descritos de forma simbólica para la correcta manipulación de los mismos por parte del agente. El agente, al obtener los datos en un formato procesable, puede realizar las tareas encomendadas en el plazo establecido y responder a los estímulos del entorno [22].

En definitiva, las características fundamentales de esta arquitectura son: representar el mundo real de forma simbólica, cumplimiento de tareas a largo plazo, y toma de decisiones por medio del razonamiento lógico.

De igual forma, vale recalcar que los problemas más comunes de esta arquitectura son la escasez de reacción en tiempo real y la conservación de la base de reglas.

Para entender el funcionamiento de la arquitectura deliberativa es importante hablar acerca de la arquitectura BDI, la misma que es la muy utilizada y estudiada en la actualidad, ya que dota de tres estados mentales importantes a los agentes que trabajan bajo esta arquitectura, estos estados mentales son: creencias, deseos e intenciones ilustrados en la Figura 2 [20].

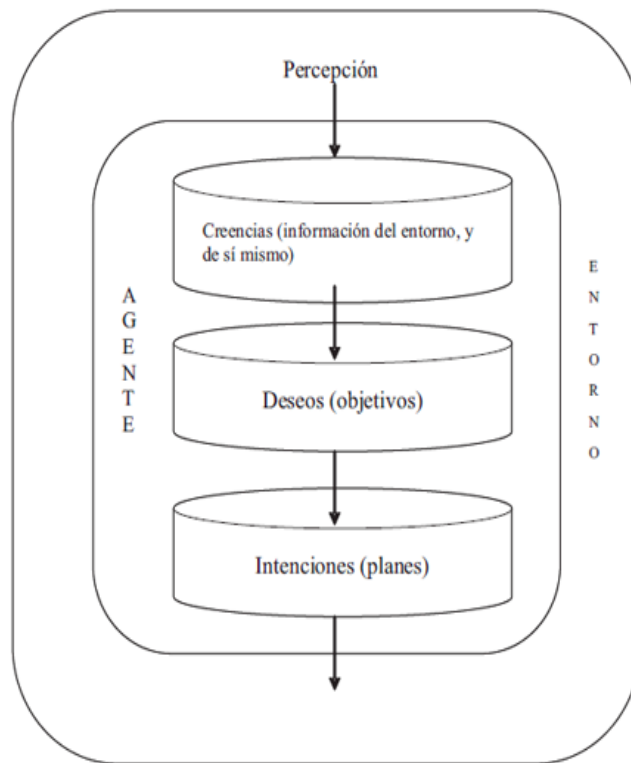


Figura 2. Arquitectura deliberativa BDI. Fuente: [20].

El modelo BDI fue creado para brindar soluciones a los agentes en entornos dinámicos e inciertos donde el acceso a la información es limitado. En este modelo las creencias representan todo aquel conocimiento que se tiene del entorno, los deseos son variables que representan un estado final deseado y las intenciones son el conjunto de caminos de ejecución.

Arquitectura híbrida

Los agentes con arquitectura híbrida son menos propensos a cometer errores y trabajan de forma más ágil que los agentes que implementan arquitecturas reactivas o

deliberativas. Este tipo de arquitectura es una mezcla de las arquitecturas anteriormente mencionadas, ya que tiene características de ambas.

La implementación más común de esta arquitectura es la creación de un agente conformado por dos subsistemas: uno de tipo deliberativo y el otro de tipo reactivo. El subsistema deliberativo representará modelos simbólicos y realizará un análisis más profundo, mientras que el subsistema reactivo emitirá una respuesta inmediata sin utilizar sistemas de datos complejos [21], [22].

En conclusión, las características más importantes de esta arquitectura son el poseer características de arquitectura reactiva y deliberativa y el hecho de que pueden llegar a complementar unos atributos con otros.

2.2.2.4. Plataformas y frameworks para el desarrollo de agentes

Existen muchas plataformas y frameworks para el desarrollo de sistemas multiagentes. Esta investigación enfatiza algunas de ellas que están orientadas los lenguajes de programación Java [24], [25], [26]. Entre las más importantes figuran las siguientes: JADE (Java Agent Development Framework), JACK, JAFMAS (Java Framework for Multi-agent Systems), MADKit (*Multi-agent Development Kit*) y Zeus. Sin embargo, la plataforma de agentes más popular entre los desarrolladores de este tipo de tecnologías es JADE.

JADE (*Java Agent Development Framework*, por sus siglas en inglés) es un entorno de desarrollo para la creación de sistemas de gestión y comunicación entre agentes ilustrado en la Figura 3, basándose en los estándares FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*). Además, tiene como objetivo reducir el tiempo de desarrollo de los sistemas de agentes, garantizando el cumplimiento de las tareas en el tiempo establecido. Es importante destacar, que en la actualidad JADE es una de las plataformas de desarrollo de sistemas para agentes más utilizadas [27].

FIPA es la organización internacional de diferentes empresas, encargadas de fijar los patrones para la comunicación e interacción de los agentes en diferentes campos de aplicación. Entre las características principales de este estándar se tiene que la culminación del estándar no debe ser extenso y solo se deben exponer los

comportamientos externos de los elementos, debido a que los procesos internos le corresponden conocer únicamente a los desarrolladores [28].

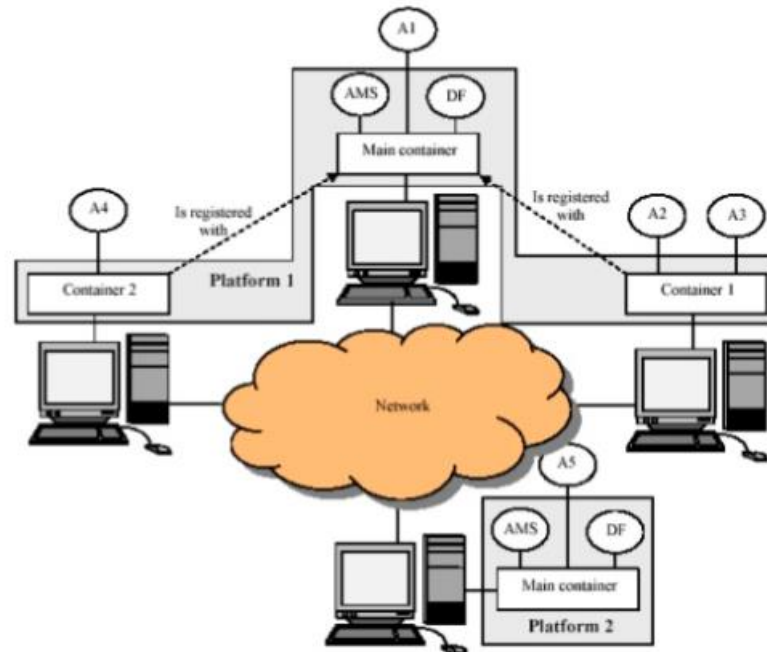


Figura 3. Arquitectura de Jade. Fuente: [23].

2.2.2.5. Interacciones en HAC

Hoy en día el ser humano depende cada vez más de las nuevas tecnologías que ayudan a facilitar las tareas diarias. Se puede definir a la interacción entre el ser humano y el ordenador como la disciplina que permite el diseño, la implementación y evaluación de sistemas interactivos para el ser humano y que permitan la solución de problemas en entornos complejos [29]. Además, es necesario estudiar los diferentes comportamientos de los agentes al interactuar con otros agentes o con el ser humano.

Por un lado, respecto a las interacciones agente-agente, la interacción entre agentes permite el intercambio de información y apoyo entre estos sistemas computacionales para la ejecución de tareas. La información que manejan este tipo de entes es de gran importancia, por ende se necesita de protocolos que impidan el manejo de información valiosa por parte de terceros [30]. En este sentido, el consentimiento informado describe las configuraciones de privacidad y preferencias

de lo que realiza un usuario para controlar sus datos y evitar que sean utilizados por terceros para otros fines. Los patrones de consentimiento tienen como objetivo garantizar que los usuarios estén conscientes de lo que están consintiendo [31]. Existen 4 niveles de consentimiento a tomar en consideración en este trabajo investigativo. Estos niveles son [32]:

- **Consentimiento general:** El usuario es consiente en dar acceso completo a sus datos.
- **Consentimiento general con condiciones específicas:** El usuario establece un acuerdo general, donde se definen ciertas condiciones del usuario, sus datos y el propósito.
- **Negación general con condiciones específicas:** Complementa al nivel de consentimiento anterior, pero tienen prioridad las restricciones.
- **Negación general:** El usuario no da su consentimiento para acceder a sus datos.

Por otro lado, en lo relacionado con las interacciones humano-agente, el estudio de los patrones de interacción permite percibir las trayectorias de la información durante los intercambios de datos que se realizan entre humanos y agentes. Para la representación de los actores que intervienen en los patrones de interacción se utilizó: la figura humanoide que representa al ser humano, la figura circular que representa a los agentes y el trapecio para representar al sistema central.

Patrón 1: Interacción Intermediaria / Proxy

La interacción intermediaria es el patrón más esencial que interviene en la comunicación e interacción entre el ser humano y el sistema central, donde un agente de software actúa como intermediario entre ambos. El agente en su papel de vocero del usuario, toma todas peticiones del usuario y las envía al sistema central para que sean procesadas, por lo tanto el usuario y sistema central no tienen contacto directo [29].

Hoy en día los agentes son de gran ayuda para los seres humanos en la solución de problemas. Este tipo de tecnologías se abre campo de a poco en diferentes escenarios donde el ser humano necesita de su colaboración. El patrón de interacción

intermediaria, ilustrado en la Figura 4 está presente en la solución de problemas de poco impacto y que no requieren de un estudio profundo, debido a que un solo agente de software no podría procesar grandes cantidades de información por sí solo, para ello se necesitaría de la intervención de otros actores [33] .



Figura 4. Interacción Intermediaria / Proxy. Fuente:[29].

Patrón 2: Interacción supervisada / Asesorada

A diferencia del patrón de interacción intermediaria, el patrón de interacción supervisada (Figura 5) permite la comunicación directa entre el usuario y el sistema central, donde el agente de software o físico se convierte en un ente independiente. El agente actúa únicamente como supervisor mientras el usuario realiza su tarea, interviniendo en situaciones inseguras y brindando apoyo en la toma de ciertas decisiones [29].

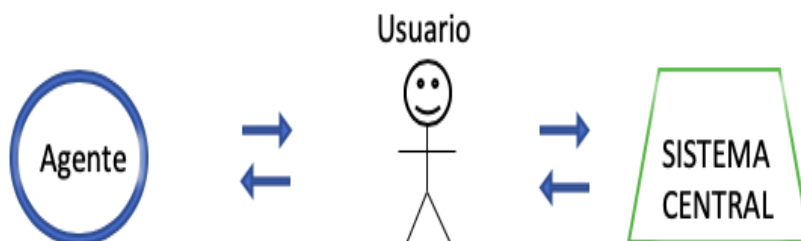


Figura 5. Interacción Supervisada / Asesorada. Fuente:[29].

El patrón de Interacción Supervisada es muy aplicado en situaciones donde los usuarios tienen algún tipo de discapacidad física, por el motivo que este tipo de personas necesitan de la ayuda de un ente externo para tomar decisiones que estén acorde a un problema. En el trabajo de Shin y Min [34] se plantea la creación de un agente de supervisión del aprendizaje a niños con autismo. Donde el agente sea capaz de utilizar procedimientos repetitivos para la correcta capacitación del usuario, donde

este deberá aprender a identificar cada uno de los elementos del entorno que lo rodea y adaptarse al mismo.

Patrón 3: Remoto / tele-interacción

El patrón remoto es muy utilizado para la tarea de reconocimiento de terrenos altamente peligrosos o de difícil acceso, en el cual el usuario utiliza el sistema central como herramienta para la manipulación de un agente o simplemente para observar los datos que obtiene el agente en el campo que se desenvuelve.

Las áreas en la que se encuentra con más frecuencia la implementación de este patrón (Figura 6) son las fuerzas armadas, instituciones de socorro ante posibles emergencias y viajes de exploración espacial, por el alto riesgo que corre la vida del ser humano [29].



Figura 6. Remoto / Tele-interacción. Fuente:[29].

En [3] se propone la creación de un agente físico (robot) que implemente el patrón Remoto/Tele-interacción para la asistencia en casos de incendios, prestando toda la ayuda necesaria, extinguiendo el fuego en el menor tiempo posible y rescatando humanos mediante el protocolo Humano, Agente, Robot, Máquina, Sensor (HARMS). Con la implementación de un agente de este tipo se busca preservar la vida humana, puesto que el ser humano en este caso monitorea y controla las acciones que realiza el robot de forma remota.

Patrón 4: Interacción con intermediarios consolidados

El patrón de interacción con intermediarios consolidados tiene mucha similitud con el patrón de interacción intermediaria. Básicamente se diferencian en que este patrón permite la posibilidad de incluir la participación de más de un usuario en el

intercambio de información con el agente. Además, permite que los usuarios compartan información entre ellos antes de que envíen los datos al agente, durante este proceso el agente debe definir el rango de los datos que obtiene de los usuarios [29].

Al igual que en el patrón de interacción intermediaria, como se muestra en la Figura 7 la cantidad de datos que puede procesar este patrón es mínima, debida a la participación de único agente. En este patrón el agente actúa como intermediario entre el sistema central y un grupo de personas que envían distintas peticiones de fácil análisis.



Figura 7. Interacción con intermediarios consolidados. Fuente:[29].

Patrón 5: Interacción consultiva consolidada

El patrón de interacción consultiva consolidada, ilustrado en la Figura 8 otorga al usuario un acompañamiento mucho más completo durante el intercambio de información entre el sistema central y el usuario, ya que intervienen más de un agente como actores independientes. Los agentes tanto físicos como virtuales proveen información de diferentes fuentes para mayor eficiencia en la toma de decisiones del usuario [29].



Figura 8. Interacción Consultiva Consolidada. Fuente:[29].

Un ejemplo práctico de este patrón se propone en el artículo de Lasecki [35], en el cual se plantea la creación de múltiples agentes que actúen como asistentes en

interfaces de conversación en línea, ayudando al usuario a responder con exactitud a las preguntas que se le planteen durante un diálogo. A futuro se proyecta la implementación de técnicas que mejoren el porcentaje de éxito para este tipo de entornos.

Patrón 6: Piscina común

La piscina común (Figura 9 es el patrón más completo y profundo dentro del estudio de los patrones de interacción humano - agente, puesto que es la combinación y aplicación de los patrones definidos anteriormente en este estudio investigativo. Permite controlar y monitorizar varios agentes por varios humanos, de la misma forma permite el asesoramiento de varios agente a las tareas realizadas por humanos para obtener éxito en los resultados finales [29].

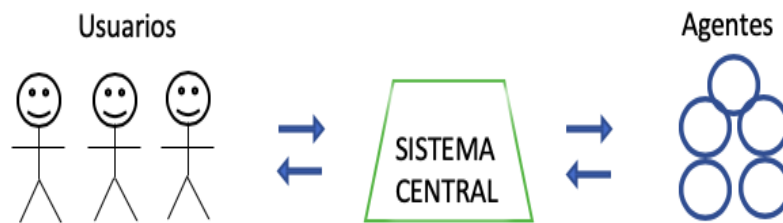


Figura 9. Piscina Común. Fuente:[29].

Una de las actividades en las que más interviene trabajo físico del ser humano es en la agricultura. La creación e implementación de un conjunto de agentes físicos (robots) para cumplir con tareas recolección y recopilación de productos agrícolas, es el escenario idóneo para implementar la Piscina Común.

Mediante la aplicación del patrón Piscina Común en la agricultura, se busca la reducción de trabajo para el ser humano y aumentar la eficiencia en la producción agrícola. El conjunto de personas que intervienen en este proceso, se encargan de controlar cada uno de los diferentes agentes que realizan todo tipo de tareas agrícolas [2].

2.3. Marco Legal

En base a la Constitución que rige a la República del Ecuador se puede establecer los siguientes artículos, en los cuales se hace referencia a la presente investigación.

- Art. 388.- de la Constitución asegura que el Estado Ecuatoriano destinará los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la formación científica.
- Art. 25.- de la Constitución del Ecuador asegura que las personas tienen derecho a gozar de los beneficios y aplicaciones del progreso científico y de los saberes ancestrales
- Art. 350.- de la Constitución del Ecuador manifiesta que “El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo”.
- Art. 142.- del Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación de la República del Ecuador dice que, se entiende por tecnologías libres al software de código abierto, los estándares abiertos, los contenidos y hardware libres. Los tres primeros son considerados como Tecnologías Digitales Libres.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue cualitativa – cuantitativa (mixta), considerando que se utilizó el enfoque cuantitativo para la obtención de valores que permiten medir el correcto desempeño del sistema y el posterior análisis de los mismos, para luego responder a preguntas de investigación, utilizando procedimientos estructurados y métodos formales.

Por otra parte, se empleó el enfoque cualitativo para hallar y refinar preguntas de investigación, basándose en experiencias obtenidas de investigadores de proyectos anteriores en el campo de la inteligencia artificial aplicada para rescate de personas en situaciones de desastre natural.

Adicionalmente, el alcance de la investigación fue de tipo exploratorio, debido al estudio realizado a los diferentes elementos que intervienen en un sistema HAC, con el fin de entender cómo se comporta cada uno de los involucrados en la colaboración de humano-agente y qué rol desempeña cada uno, de esa forma se tuvo un panorama más amplio para empezar el desarrollo del sistema.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue experimental, puesto que para la solución de problemas en los sistemas HAC, se creó un entorno de simulación de todas las interacciones que realizan los elementos que intervienen en los sistemas HAC. En este entorno se realizaron varias pruebas que permitieron medir tiempos de respuesta, verificar si el sistema cumplía con las características y si la interfaz brindaba todas las condiciones para una experiencia agradable al usuario.

3.3. Especificación y operacionalización de las variables

Entre las variables que se analizaron se encuentran las descritas en la Tabla 1. De cada una de las variables descritas se describe su definición, el tipo de variable y el tipo de unidad o magnitud usada para su medición.

Tabla 1. Descripción de las variables

Variables	Definición Conceptual	Tipo de variable	Unidad de medida
Rendimiento	Tiempo mínimo de respuesta del sistema HAC frente a un eventual problema	Cuantitativa	Tiempo
Capacidad	Cumplimiento de las características de un sistema HAC	Cuantitativa	Volumen
Usabilidad	Calidad de la experiencia que tiene el usuario al interactuar con el sistema	Cuantitativa	Porcentaje

3.4. Fuentes de información

Para que este trabajo de investigación cumpla con las características de un sistema HAC, fue necesario obtener datos de diferentes fuentes de información para posteriormente realizar diversos tipos de análisis y conformar los equipos necesarios que intervienen en la prestación de servicios en caso de un eventual terremoto.

Ushahidi permitió simular un escenario de un posible caso de terremoto, a su vez obtener datos de ubicación y estado de las personas afectadas en tiempo real. De igual forma se utilizó un dataset donde se detalla nombres, cargos y sueldos del personal administrativo y operativo del Servicio Integrado de Seguridad (ECU 911).

3.5. Materiales (herramientas y tecnologías empleadas)

Para llevar a cabo el desarrollo del sistema de socorro para terremotos, fue necesaria la utilización de herramientas y tecnologías que permitieran realizar tareas esenciales como mapeo de zonas afectadas, programación, almacenamiento de información y comunicación entre agentes.

La herramienta con la que se empezó a trabajar fue Ushahidi, la cual es una plataforma de Internet que permite el mapeo de todas las peticiones de socorro existentes en el cantón Esmeraldas en tiempo real, para que posteriormente esa información fuera exportada y almacenada en una base de datos.

La programación de las clases, objetos e interfaces se realizó en su totalidad en lenguaje Java 8 en el entorno de desarrollo NetBeans 8.2, además de trabajar con la librería JADE 4.5.0 para la creación y ejecución de agentes de software.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA

4.1. Análisis de protocolos de comunicación Agente – Agente

El análisis de las distintas formas de comunicación que tienen los agentes abre un sinnúmero de posibilidades para fusionar estas formas y adaptarlas acorde a las necesidades que tenga el desarrollador. Al momento de elegir los protocolos para la construcción de los patrones de interacción no solo se priorizó la obtención de resultados; sino también que estos sean de calidad y que las tareas se realicen en el menor tiempo posible, optimizando los recursos tecnológicos con los que se contaba.

En la *Tabla 2* se especifican los protocolos de comunicación que se utilizaron para el desarrollo de cada uno de los 6 patrones de interacción que intervienen en los sistemas HAC, en ciertos casos no hubo la necesidad de utilizar más de un protocolo por patrón, debido a las diversas características con las que cuentan estas tecnologías.

Tabla 2. Protocolos utilizados para creación de patrones

Patrones	Protocolos Utilizados			
	FIPA - Request	FIPA - Query	FIPA Subscription	Movilidad
Intermediaria	X	X		
Supervisada			X	
Remota				X
Consolidados	X	X		
Consultiva C.			X	
Piscina Común				X

Cabe recalcar que, en todos los patrones diseñados y desarrollados en este proyecto, se creó un agente “*SingleHuman*” que cumplió la función de intermediario entre el ser humano y los demás agentes “*SingleAgent*”, para su programación se

utilizaron los mismos protocolos y conceptos utilizados para el desarrollo de los demás agentes.

4.2. Requerimientos funcionales

A continuación, se describen las tareas, funciones y comportamientos que se incorporan al sistema para tener el nivel de calidad que se espera; además de cumplir con las necesidades de los interesados en el proyecto.

- 1) El sistema envía el formulario creado en la herramienta Ushahidi, a través de diferentes redes sociales.
- 2) El sistema muestra un resumen de los informes recibidos de la herramienta Ushahidi a un encargado de la parte táctica del proceso, y este se encarga de crear los grupos de rescates con los recursos que se cuenta.
- 3) El sistema plantea objetivos a los grupos de rescate y provee información del lugar exacto donde se requiere ayuda.
- 4) El sistema valida cada uno de los informes obtenidos por parte de la herramienta Ushahidi.
- 5) Se crearon 3 interfaces con distinto contenido, debido a que cada rol realiza tareas distintas dentro del sistema. Las interfaces a crear son: estratégico, táctico y operativo.

4.3. Diseño de patrones

Para los patrones de interacción que definen a los sistemas HAC, se diseñaron los modelos con los distintos comportamientos que están presente en cada uno de estos, además las tareas que realiza cada uno de los niveles que componen el sistema: estratégico, táctico y operativo. Para cada nivel se diseñó una interfaz facilitando de esta forma la comunicación entre todos los actores que participan en el sistema.

Para el diseño del Patrón 1 (Interacción intermediaria / Proxy) ilustrado en la Figura 10, se propuso como aplicación la petición por parte del ser humano al agente de realizar una tarea cualquiera, luego el agente pregunta al ser humano si está seguro de realizar la tarea, en caso de confirmar, se realiza la tarea; caso contrario se cancela su ejecución.

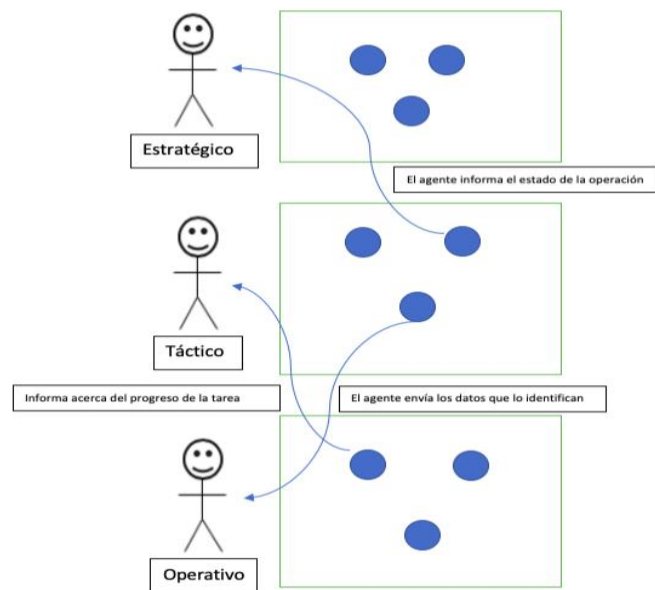


Figura 10. *Diseño Interfaces interacción intermediaria*

El diseño del Patrón 2 (Interacción supervisada / Asesorada) ilustrado en la Figura 11, se propuso como aplicación el envío de informes de forma periódica por parte de un agente a una persona en específico.

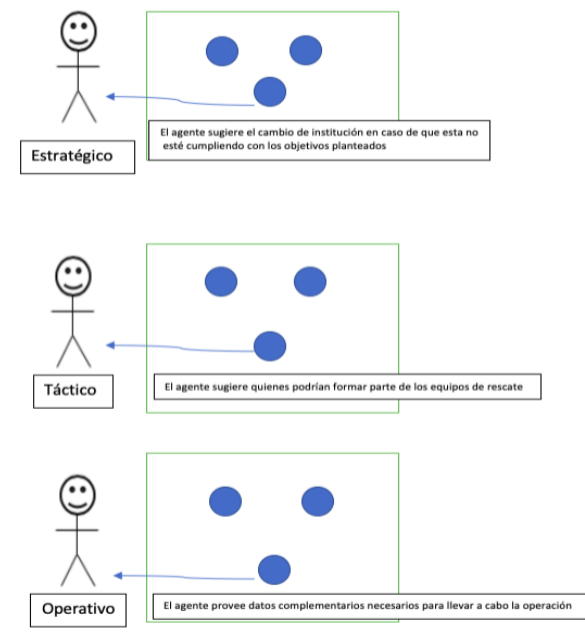


Figura 11. *Diseño interfaces interacción supervisada*

Para el Patrón 3 (Remoto / Tele-interacción) ilustrado en la Figura 12, se propuso como aplicación la petición por parte del ser humano al agente para que

realice cierta tarea, el agente debía movilizarse por todo el sistema hasta completar con el pedido y volver a su lugar de origen.

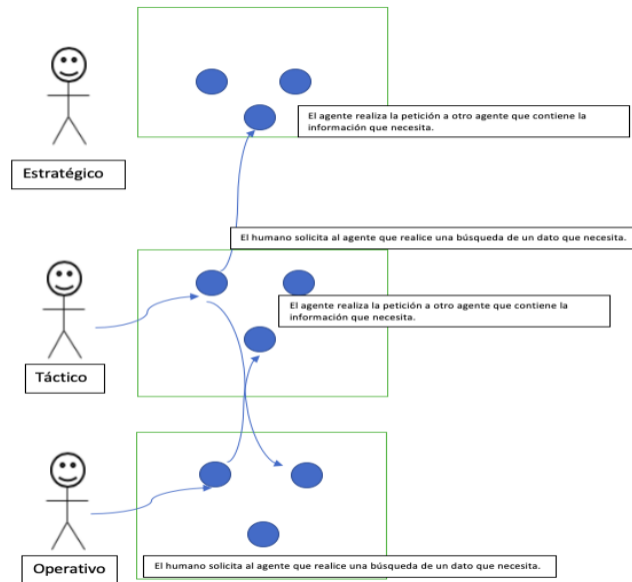


Figura 12. Diseño interfaces tele-interacción

En el diseño del Patrón 4 (Interacción con intermediarios consolidados), se implementó como aplicación el envío de informes por parte de un agente a varias personas de los distintos niveles que intervienen en el sistema ilustrado en la Figura 13.

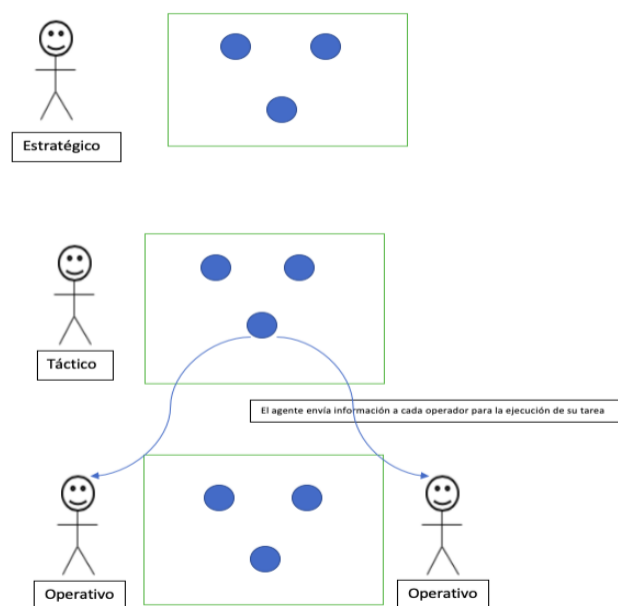


Figura 13. Diseño interfaces interacción con intermediarios consolidados

En el caso del Patrón 5 (Interacción consultiva consolidada) ilustrado en la Figura 14, se realizó una pequeña variante con respecto al Patrón 4, se propuso como ejemplo, el envío de información por parte de varios agentes de software a distintas personas de los diferentes niveles jerárquicos.

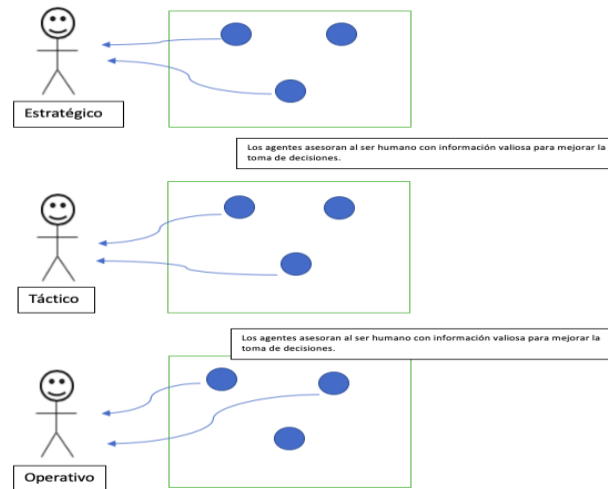


Figura 14. Diseño Interfaces Interacción Consultiva Consolidada

Para el Patrón 6 (Piscina Común) ilustrado en la Figura 15, la aplicación consistió en realizar varias peticiones de forma simultánea a varios agentes, a su vez estos debían movilizarse por todo el sistema hasta hallar la información requerida por varias personas y luego volver a sus lugares de origen.

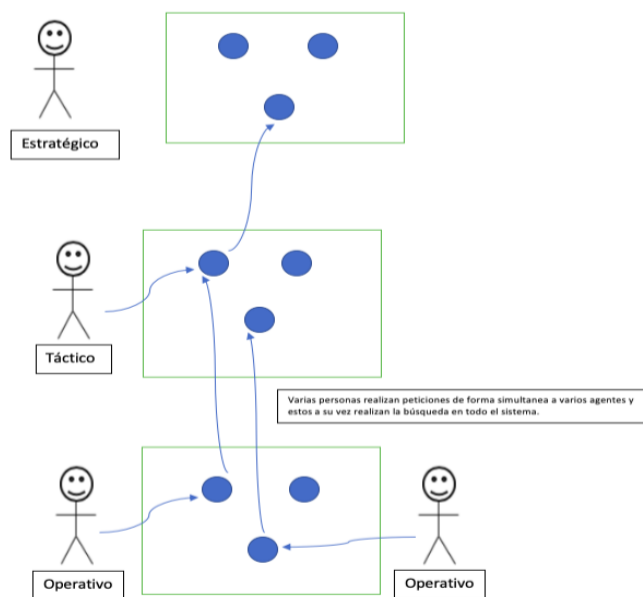


Figura 15. Diseño interfaces piscina común

Para la implementación de los 6 patrones de interacción entre agentes, fue necesario aplicar los protocolos de comunicación FIPA que permitieron cumplir con los requerimientos funcionales de cada patrón. En la Figura 16 se puede apreciar parte del código del patrón 2 (interacción supervisada), donde el agente de software recibe las peticiones de suscripción de los operadores humanos y una vez aceptada la misma el agente proporciona de forma periódica información necesaria para el solicitante. Entre las opciones del agente humano (*singleHuman*) está cancelar la suscripción en caso de no querer recibir ningún tipo de dato por parte del agente de software (*singleAgent*), además para este patrón se crea un comportamiento donde se especifica que los datos serán enviados a los suscriptores semanalmente. De la misma forma están estructurados los demás patrones, pero con funciones diferentes para cada uno de los actores.

```
public class singleAgent extends Agent{
    private Set<Subscription> suscripciones = new HashSet<Subscription>();

    protected void setup() {
        System.out.println(this.getLocalName() + ": Esperando suscripciones...");

        //Se crea una plantilla para que sólo se admitan mensajes del protocolo FIPA-Subscribe
        MessageTemplate template = SubscriptionResponder.createMessageTemplate(ACLMessage.SUBSCRIBE);

        //Se añade un comportamiento que cada 5 segundos envía un mensaje a todos los suscriptores.
        this.addBehaviour(new EnviarSemanal(this, (long) 5000));

        //Se añade un comportamiento que maneja los mensajes recibidos para suscribirse.
        //Habrà que crear primero el SubscriptionManager que registrará y eliminará las suscripciones.
        SubscriptionManager gestor = new SubscriptionManager() {

            public boolean register(Subscription suscripcion) {
                suscripciones.add(suscripcion);
                return true;
            }

            public boolean deregister(Subscription suscripcion) {
                suscripciones.remove(suscripcion);
                return true;
            }
        };
        this.addBehaviour(new HacerSuscripcion(this, template, gestor));
    }
}
```

Figura 16. Implementación de patrón de interacción supervisada

4.4. Implementación de las características del sistema HAC

Para la implementación de las 4 características que definen a un sistema de colectivos entre agentes de software y humanos, fue necesaria la búsqueda de mecanismos que se adaptaran a los requerimientos del sistema y que permitieran una eficiente comunicación entre los diferentes actores que intervienen en la colaboración en una situación de emergencia.

En el caso de la **autonomía flexible** los agentes humanos y de software actúan de diferentes maneras, los agentes de software toman la información obtenida del exterior y en base a la complejidad del problema (campo Estado del formulario de Ushahidi ilustrado en la Figura 17) decide si se hace cargo del mismo, en caso de ser así envía mensajes a las personas que requieren su ayuda en ese momento. Los mensajes enviados por el agente pueden ser de diferente tipo, ya sea indicando el nombre de a quien le asigno esa tarea, la cancelación de la tarea por falta de datos o comunicando la poca claridad de los datos, como se puede observar en la Figura 18.



Figura 17. Interfaz principal del sistema SIECE

```

        //Mensaje de respuesta del agente cuando un dato es muy complejo y se hace difícil de encontrar
        throw new RefuseException("Dato difícil de encontrar");
    }
}
//Los mensajes deben ser claros, caso contrario el agente no dará paso a la petición
else throw new NotUnderstoodException("Agente manda un mensaje que no puedo entender.");
}

protected ACLMessage prepareResultNotification(ACLMessage request,ACLMessage response) throws FailureException
{
    if (Math.random() > 0.2) {
        System.out.println(getLocalName()+""");
        ACLMessage inform = request.createReply();
        inform.setPerformative(ACLMessage.INFORM);
        return inform;
    }
    else
    {
        System.out.println(getLocalName()+""");
        //Una vez el agente no ha podido realizar la tarea con éxito se envía el siguiente mensaje
        throw new FailureException(" Ha hecho todo lo posible ");
    }
}
}
}

```

Figura 18. Agente de software

Por otro lado, los agentes humanos trabajan de forma autónoma en tareas como la prestación de servicios a través de llamadas telefónicas o creando equipos de forma manual. Este tipo de tareas debido a su bajo nivel de complejidad no necesitan de la colaboración de otro tipo de agente.

Al contrario de la autonomía flexible, para el **equipo ágil** se analizaron las tareas con mayor grado de dificultad para ser resueltas por varios agentes tanto humanos como de software, tal y como se representa en la Figura 19. La creación de los equipos dependía del tipo de tarea que se presentaba en ese momento y en base a ello se asignaban roles a los distintos actores aptos para solucionar ese problema de forma eficiente. La selección de los agentes humanos se puede realizar ya sea realizando una búsqueda en el listado de todos los empleados del Servicio Integrado de Seguridad (ECU 911) o mediante los filtros de cada uno de los tipos de actores que intervienen en un sistema HAC (estratégico, táctico y operativo).

ESTADO DE TAREA En proceso o Inactiva

ID: 4

Tipo desastre: TERREMOTO

Estado: heridos, perdidos

Latitud: 3.730077

Longitud: -76.863098

Nombre	Cargo	Sueldo Bruto
ALEX ANTONIO GERMA...	ANALISTA SEGURIDAD TIC	75000.00000
ALEXANDER DE JESUS P...	SOPORTE A USUARIO	38000.00000
ALICIA JOSEFINA CUSTAL...	ASESORA DE COMUNICA...	170000.00000
ALLISON JOSEFINA PADIL...	ASISTENTE ADMINISTRA...	45000.00000
ALTAGRACIA BATISTA A...	CONSERJE	15000.00000
ALTAGRACIA DE LA CRU...	CONSERJE	12000.00000
ALTAGRACIA TAVERAS MARTINEZ	OPERADOR DEL 911	28000.00000
AMAUROS ALEXANDER RL...	CONSERJE	12000.00000
AMALRY MARTINEZ LOP...	ANALISTA RADIOCOMU...	45000.00000
AMALRY PANIAGUA ROS...	SOPORTE TECNICO VID...	38000.00000
AMBIORIS VALENTIN CA...	OFICIAL DE ENTRENAMI...	60000.00000

Nombre: ALTAGRACIA TAVERAS MARTINEZ

Cargo: OPERADOR DEL 911

Sueldo: 28000.00000

Conectar

Filtro Estratégico: DIRECTORA DE PLANIFICACION Y DESARROLLO

Filtro Táctico: ENCARGADO DE SISTEMA

Filtro Operativo: ASESORA DE COMUNICACIONES

Retribución por tarea realizada con éxito

Sueldo:

Comisión 5%:

Figura 19. Asignación de tareas

Por otro lado, para implementar la característica de **ingeniería de incentivos**, y que ésta funcione dentro del sistema propuesto de forma eficiente y que ayude a lograr los resultados esperados en cada tarea asignada, se estableció una retribución del 5% del sueldo por cada tarea que se realice con éxito. Este incentivo es calculado en el momento en que el usuario cambie el estado de la tarea de “En proceso o Inactiva” a “Tarea terminada” como se ilustra en la Figura 20.

Por último, para la implementación de la **infraestructura de la información responsable** se necesitó de la colaboración de agentes humanos que se encargaron de

la tarea de normalización y análisis de los datos obtenidos del exterior para establecer si esa información era válida para el presente trabajo, puesto que en ciertas ocasiones la información estaba incompleta o con inconsistencias.

The screenshot shows a software interface titled "ESTADO DE TAREA". It features a table of employees with columns for "Nombre", "Cargo", and "Sueldo Bruto". The employee "ASALIA YANIRA DE LA C..." is highlighted. To the right, there are input fields for "Nombre", "Cargo", and "Sueldo", all containing the same information as the highlighted employee. A green button labeled "TAREA TERMINADA" is highlighted with a red box. Below the table, there are filter dropdowns for "Filtro Estratégico", "Filtro Táctico", and "Filtro Operativo". A summary box on the right, also highlighted with a red box, shows "Retribución por tarea realizada con éxito" with fields for "Sueldo" (28000.00000) and "Comisión 5%" (1400.0).

Nombre	Cargo	Sueldo Bruto
ANTHONY ALEXANDER ...	MONITOR DE CALIDAD	35000.00000
ANTHONY GIL MORETA ...	SOPORTE A USUARIO	38000.00000
ANTONIO EMMANUEL R...	ANALISTA DE SERVIDOR...	75000.00000
ANTONIO RAFAEL GONZ...	MENSAJERO	15000.00000
ARGELIS JOSÉ DE LA CR...	OPERADOR DEL 911	28000.00000
ARISMENDY ANASTACIO...	ENCARGADO DIVISION B...	90000.00000
ARLETTIZ YANDRIELIZ M...	OPERADOR	25000.00000
ASALIA YANIRA DE LA C...	OPERADOR DEL 911	28000.00000
ASDRID ORTIZ	OPERADOR	20000.00000
AUSTRIA DEL ROSARIO	CONSERJE	12000.00000
AWILDA VERONICA MES...	GESTOR DE PROYECTOS	90000.00000

Nombre: ASALIA YANIRA DE LA CRUZ
Cargo: OPERADOR DEL 911
Sueldo: 28000.00000

TAREA TERMINADA

Retribución por tarea realizada con éxito

Sueldo: 28000.00000
Comisión 5%: 1400.0

Figura 20. Retribución por tarea realizada

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Escenario de desarrollo

Existen muchos escenarios (incendios, tsunamis, tornados, huracanes, terremotos, entre otros) donde se puede implementar un sistema HAC de forma eficiente y con resultados de alto valor en lo que respecta a la gestión de recursos. En esta investigación, se decidió simular un entorno que se asemeje al de un terremoto. En este escenario se determinó la intervención de personal estratégico, táctico y operativo con el que cuenta el cantón Esmeraldas para un eventual desastre natural de este tipo.

En la Figura 21, se puede observar el esquema en el que se ilustran las entidades participantes e infraestructura tecnológica empleada para realizar la simulación del escenario planteado. No se realizó una implementación real por factibilidad para el uso de los recursos de una institución en particular. Sin embargo, el código del sistema está públicamente disponible y puede ser accedido a través del repositorio del proyecto, el mismo que se encuentra disponible en la siguiente dirección electrónica: <https://github.com/JJZZ93/Tesis/tree/master/src>.

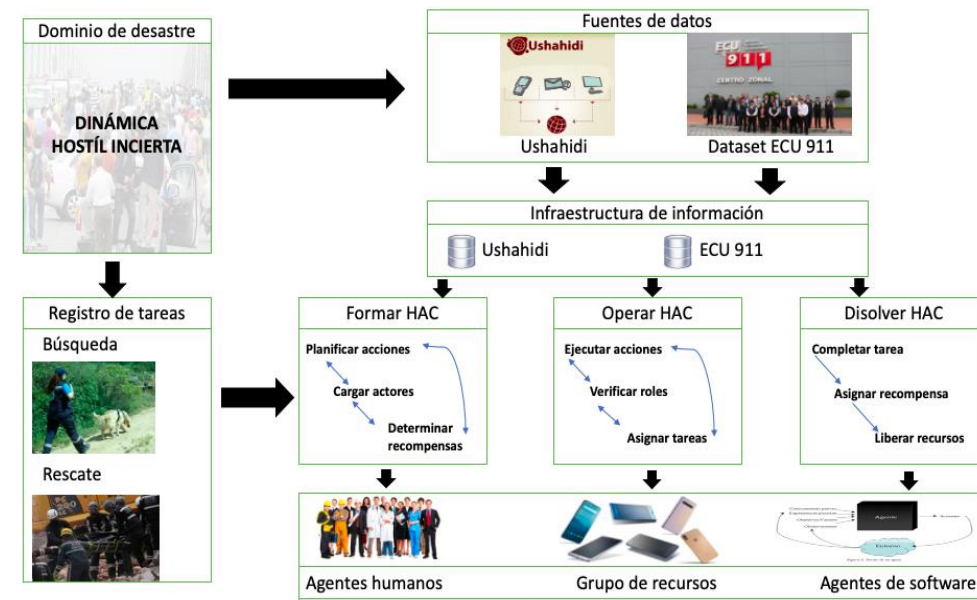


Figura 21. Simulación del entorno

5.2. Funcionamiento del sistema

SIECE (Sistema Integrado de Emergencia del Cantón Esmeraldas) es el nombre del sistema planteado en este proyecto, el mismo tiene implementadas las 4 características y 6 patrones que debe tener todo sistema HAC, descritos anteriormente. El sistema consta de 2 interfaces, la primera es la interfaz principal en la que se cargan todos los datos obtenidos por Ushahidi y que están almacenados en una base de datos MySQL. Además, permite eliminar registros en caso de que un agente humano lo desee.

Una vez que el agente selecciona la tarea que va a ser asignada se despliega la segunda interfaz, la cual permite cargar la nómina con los datos de los agentes humanos con los que se cuenta en el momento de algún siniestro. Luego de que se asigna la tarea a un agente humano, se debe confirmar la culminación de la misma en el momento indicado para que el sistema automáticamente calcule un 5% sobre el sueldo que percibe el encargado por haber realizado la tarea con éxito (calcular incentivo de encargado), estas son algunas de las tareas que realiza el sistema descritas en la Figura 22.

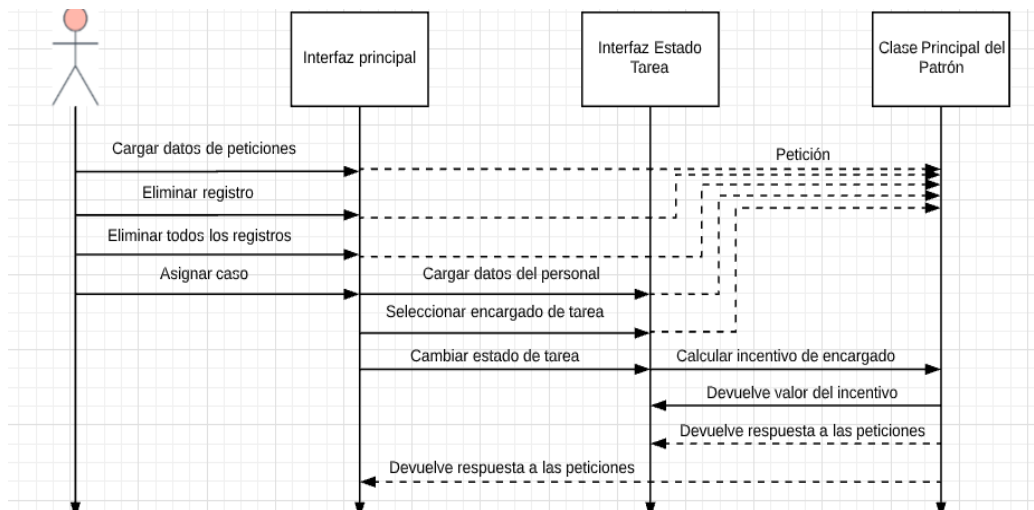


Figura 22. Diagrama de secuencia del sistema

Además todos los procesos descritos en la Figura 22 están sujetos al funcionamiento de 3 clases por cada patrón, la primera clase, corresponde al agente humano, la segunda al agente de software y la tercera es la clase principal (*main*)

donde se crean los objetos tanto humanos como de software, el funcionamiento de la clase humano y la clase agente es distinto en cada patrón.

5.3. Evaluación del sistema

Para la evaluación de cada una de las variables con las que debía cumplir el sistema SIECE, fue necesario aplicar distintos métodos que permitieran demostrar el correcto funcionamiento y eficiencia del sistema, para la posterior implementación de éste por parte de los organismos de socorro del cantón Esmeraldas. Es importante resaltar que el sistema es un prototipo que podría ser usado a futuro si las autoridades lo consideran oportuno. Sin embargo, pudo ser evaluado a través de la técnica de simulación, un proceso que se realizó sobre los procesos del sistema desarrollado, los cuales proporcionaron datos reales respecto a los procesos involucrados en las 4 características de los sistemas HAC, esto es, autonomía flexible, equipo ágil, ingeniería de incentivo e infraestructura de la información responsable.

5.3.1. Evaluación de las características HAC del sistema

El cumplimiento de cada una de las 4 características que definen a un sistema HAC se considera como un punto importante a la hora de evaluar la calidad del sistema propuesto (SIECE) puesto que si no se cumple con aquello el sistema perdería el enfoque inicial para el que fue creado. Para evaluar el cumplimiento de las características o capacidad del sistema se evaluó cualitativamente los aspectos básicos para el correcto funcionamiento de las 4 características de un sistema HAC.

Evaluación de característica “autonomía flexible”

En la Tabla 3, se lista un total de 10 aspectos que describen esta primera característica de los sistemas HAC. Dichos aspectos han sido determinados en base a las bases teóricas-conceptuales de dicha característica y de la experiencia del investigador, respecto al desarrollo de sistemas de información y sistemas multiagentes.

Tabla 3. Evaluación de la autonomía flexible

EVALUACIÓN DE LA AUTONOMÍA FLEXIBLE		
Nº	Aspecto evaluado	Resultado
1	¿Fueron creados los agentes en la plataforma que implementó el sistema multiagente sin presentar errores de inicialización?	SI
2	¿Se presentaron errores en la comunicación entre agentes?	NO
3	¿Entendieron los agentes los mensajes que recibieron de otros que se encontraban en el sistema multiagente?	SI
4	¿Notificaron los agentes cuando presentaron un error de ejecución?	SI
5	¿Cumplieron satisfactoriamente los agentes, las tareas relacionadas con la autonomía flexible?	SI
6	¿Actuaron los agentes de manera lógica en las tareas relacionadas con la autonomía flexible?	SI
7	¿Actuaron los agentes de manera eficiente en las tareas relacionadas con la autonomía flexible?	SI
8	¿Actuaron los agentes en coherencia con las restricciones de la autonomía flexible?	SI
9	¿Funcionó de manera adecuada el mecanismo implementado por los agentes para aceptar o rechazar tareas?	SI
10	¿Gestionaron los agentes de manera consistente, los datos usados para conocer el entorno en el que se desempeñaron?	SI

Como argumento de las respuestas a las interrogantes 1, 2, 3 y 4 de la Tabla 3, que determinan el correcto funcionamiento de los agentes durante su implementación en el sistema, no presentaron novedades ni en las clases creadas para los agentes de software ni en las clases creadas para la representación de agentes humanos en el sistema. Además, los mecanismos desarrollados para la notificación de posibles errores de comunicación entre agentes se ejecutaron de la forma esperada, optimizando de esta manera, el proceso de comunicación entre agentes y permitiendo que los mensajes lleguen con claridad a los agentes receptores.

Para las interrogantes 5, 6, 7 y 8 que se refieren a la autonomía flexible dentro del sistema propuesto, en base a lo desarrollado en este proyecto, se evidenció que la capacidad que tuvieron los agentes para poder resolver tareas de forma individual,

fueron siempre lógicas y coherentes en cada respuesta que emitían. Se cumplió con todas las tareas que requerían ser resueltas por un agente y estas se realizaron en un rango de tiempo que se ajustaba a las exigencias del usuario.

Por último, en relación a las interrogantes 9 y 10, se constató que la información que era manejada por los agentes, al ser clara y coherente, permitió la optimización de las tareas realizadas por los agentes según lo esperado. Además, el mecanismo implementado para aceptar o rechazar una tarea funcionó de forma correcta ya que una tarea al encontrarse fuera del rango de trabajo del agente u otra razón, éste emitía un mensaje notificando los motivos por los cuales no podía resolver esa tarea.

Evaluación de característica “equipo ágil”

En la Tabla 4, se detallan los resultados de una evaluación cualitativa, realizada al sistema propuesto, en la que se evidencia el cumplimiento de 10 aspectos íntimamente relacionados con la formación de equipos ágiles en sistemas HAC, implementados a partir de sistemas multiagentes.

Tabla 4. Evaluación de equipo ágil

EVALUACIÓN DE EQUIPO ÁGIL		
Nº	Aspecto Evaluado	Resultado
1	¿Fueron formados con éxito los equipos en el sistema propuesto?	SI
2	¿Fueron cumplidos los objetivos para los cuales se crearon los equipos ágiles en el sistema propuesto?	SI
3	¿Hubo coordinación entre los agentes de software y los humanos que formaron los equipos ágiles?	SI
4	¿Llegó la información de manera que todos los miembros de los equipos ágiles la entendieran?	SI
5	¿Fueron los equipos ágiles creados destruidos una vez que cumplieron su meta?	SI
6	¿Cumplieron los equipos ágiles que se formaron todas las tareas asignadas?	SI

7	¿Requirieron los equipos ágiles formados en el sistema propuesto ayuda de entes externos?	NO
8	¿Participaron los tres tipos de agentes humanos dentro de un equipo ágil?	SI
9	¿Fue la creación de los equipos ágiles automática?	NO
10	¿Funcionaron los mecanismos de comunicación para que agentes y personas intercambiaran información y cumplieran el objetivo planteado?	SI

Argumentando a las respuestas a las interrogantes 1, 2, 3 y 4 de la Tabla 4, se constató que los equipos formados por agentes de software y agentes humanos resolvieron con éxito todas las tareas asignadas. Además, la comunicación entre todos los agentes que conformaban los equipos se dio con fluidez ya que la información llegó de forma clara, rápida y normalizada a cada una de las entidades participantes.

Las interrogantes 5, 6 y 7 estaban centradas en la coordinación que existió entre los miembros que conformaron los equipos ágiles y el cumplimiento de todas las tareas que se asignaron. Se demostró un alto nivel de efectividad del sistema a la hora de resolver los problemas planteados, sin necesidad de necesitar ayuda de algún ente externo que no constaba como parte de los recursos de los que disponía el sistema. Además, se evidenció que la destrucción de los equipos formados fue exitosa, y sin causar inconsistencias en el sistema. Una vez que se cumplieron las tareas asignadas, se liberaron recursos que fueron utilizados, así estuvieron disponibles para la creación de nuevos equipos.

En el caso de las interrogantes 8, 9 y 10, éstas están relacionadas con la participación de los tres tipos de agentes humanos que son característicos de los sistemas HAC (estratégico, táctico y operativo). Estos tres tipos de recursos estuvieron repartidos en tres filtros de búsqueda para la facilidad del usuario, ayudando de esta forma a agilizar los procesos dentro de la cooperación software-humano. También es importante señalar que la creación de los equipos se realizó de forma manual y no automática como se quería en un principio, considerando como un punto a mejorar a futuro.

Evaluación de característica “ingeniería de incentivos”

La tercera característica de los sistemas HAC, ingeniería de incentivos, ha sido también evaluada mediante un análisis cualitativo en el que se describieron 10 aspectos relacionados. Estos aspectos son descritos y evaluados en la Tabla 5.

Tabla 5. Evaluación de ingeniería de incentivos

EVALUACIÓN DE INGENIERÍA DE INCENTIVOS		
Nº	Aspecto Evaluado	Resultado
1	¿Permitió el método de incentivo implementado mejorar el rendimiento de los agentes software del sistema?	NO
2	¿Permitió el método de incentivo implementado mejorar el rendimiento de los agentes humanos del sistema?	SI
3	¿Se aplicó el método de incentivo de manera equitativa entre los participantes de los equipos?	SI
4	¿Se aplicó un mecanismo de incentivo jerárquico en función del rol de cada agente participante?	NO
5	¿Existió diferencia entre el mecanismo de incentivo para agentes humanos y agentes software?	SI
6	¿Permitió el sistema propuesto el manejo de más de un método de incentivo?	NO
7	¿Fue eficiente el método de ingeniería de incentivos en el sistema propuesto?	NO
8	¿Es aplicable el método de incentivo para tareas encomendadas a equipos ágiles?	NO
9	¿Es aplicable el método de incentivo para tareas encomendadas a agentes individuales?	NO
10	¿Es posible integrar nuevos mecanismos de incentivo dentro del sistema modelado?	SI

Las interrogantes 1, 2, 3, 4 y 5 de la Tabla 5 estuvieron enfocadas en evaluar la diferencia entre los comportamientos de los agentes de software y los agentes humanos con respecto a la aplicación de incentivos. Se pudo evidenciar que el sistema permitió realizar con éxito las tareas asignadas. A los agentes de software no les afectó en lo más mínimo los incentivos puesto que no aplica para ellos en este sistema

propuesto; mientras que, en relación con los agentes humanos, éstos sí podrían mejorar su desempeño ya que ellos sí reciben una bonificación del 5% de su sueldo por tarea cumplida. Este porcentaje del 5% aplica para todos los agentes humanos sin importar el rol que desempeñe en la colaboración entre agentes y humanos. Sin embargo, se recomienda también integrar una técnica de gamificación para que no todo sea monetario; sino premios enfocados en su reconocimiento y ascensos.

Las interrogantes 6, 7, 8, 9 y 10, estuvieron orientadas a determinar la pertinencia del método de incentivo empleado en el sistema HAC. En vista de que se usó el método Taylor como método de incentivo, se evidenció que éste solo es aplicable para agentes humanos y permite el manejo de otro método de incentivos siempre y cuando no trabajen ambos sobre el mismo sistema, debido a las condiciones de trabajo que existen entre un mecanismo y otro. Además, este mecanismo es aplicable tanto para trabajos individuales como en equipo siempre y cuando sea solo dirigido en asignar incentivos a agentes humanos.

Evaluación de característica “infraestructura de la información responsable”

En la Tabla 6, se describen los resultados de una evaluación cualitativa a los aspectos que definen a la infraestructura de la información responsable, en la que se evalúan 10 aspectos íntimamente relacionados con el correcto manejo de la información que se obtiene del exterior.

Tabla 6. Evaluación de infraestructura de la información responsable

EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN RESPONSABLE		
Nº	Aspecto evaluado	Resultado
1	¿Manejó el sistema propuesto fuentes confiables y de procedencia calificada?	SI
2	¿El sistema verificó la procedencia de la información de forma automática?	SI
3	¿Permite el sistema utilizar agentes físicos (i.e., drones, robots) como medio para obtener información?	NO

4	¿Permite el sistema utilizar agentes software de terceros como medio para obtener información?	NO
5	¿Permite el sistema utilizar servicios web de terceros como medio para obtener información?	NO
6	¿Permite el sistema utilizar el conocimiento humano externo como medio para obtener información?	NO
7	¿Permite el sistema utilizar aplicaciones externas como medio para obtener información?	SI
8	¿Se aplicó un mecanismo de normalización de los datos usados por el sistema?	NO
9	¿Se aplica algún método para determinar el origen de los datos usados por el sistema?	NO
10	¿Describe el sistema metadatos sobre la información empleada?	NO

Las interrogantes 1 y 2 de la Tabla 6, estuvieron relacionadas con el manejo de la información proveniente del exterior y de la confiabilidad de la misma. En el sistema propuesto, los datos se obtuvieron por medio de Ushahidi (como herramienta utilizada para la creación de encuestas y manejo de datos de la persona que requiere ayuda) y un dataset con información del personal del Sistema Integrado de Seguridad (ECU 911) descargado desde la página oficial de la institución. Ushahidi permitió almacenar todas las peticiones de forma automática y detectar si existían datos repetidos para su posterior eliminación. En este sentido, la información manejada sí fue confiable, aunque la validación de ello no fue automática; sino que dependió de las fuentes que se decidieron usar y de los métodos propios del ECU 911, y por otro lado, de los métodos de seguridad e integridad de los datos implementados por la cuenta de Ushahidi.

Las interrogantes 3, 4, 5, 6 y 7, estuvieron relacionadas con el uso de información proporcionada por entidades de sistemas externos como agentes, servicios web, y agentes físicos (drones, robots, entre otros). En este sentido, el sistema sí empleó dos fuentes externas, ya comentadas, pero ambas fueron confiables. Ello no requirió modelar mecanismos adicionales más que un banco de datos propio del sistema.

La evaluación de las interrogantes 8, 9 y 10, demuestran que el sistema careció de un mecanismo automático de normalización por parte del sistema, debido a su

complejidad de integración se dispuso a realizar esta tarea de forma manual, puesto que en su gran mayoría los datos se encontraban completos. Además, el sistema no hace uso de un mecanismo que permita dar mayor detalle acerca del origen de los datos que maneja el sistema ya que las fuentes usadas todas son confiables. No se ha hecho uso de fuentes no validadas como los datos de redes sociales. Sin embargo, se recomienda incorporar este tipo de información en una próxima versión del sistema.

5.4. Análisis de las variables de calidad del software

Las variables utilizadas para la evaluación del sistema propuesto en este proyecto, fueron elegidas de manera que en conjunto permitieran realizar un análisis general del correcto funcionamiento de todos los componentes que forman parte del sistema. El tiempo de respuesta de un sistema informático es clave a la hora de medir su eficiencia y calidad, es por ello que la prueba del rendimiento del sistema es parte importante de este proyecto. Además, se debía medir la usabilidad, que siempre es un punto muy importante debido a que permite establecer si el sistema brinda facilidades al usuario para poder realizar las tareas para el que fue creado. La evaluación de estos aspectos, se describe como sigue:

Evaluación del rendimiento del sistema

El rendimiento fue una de las variables que se consideró a la hora de evaluar el sistema, ya que permite comprobar la eficiencia de todos los procesos en base al tiempo que tarda en realizar cada uno de estos. La evaluación de esta variable se realizó un total de 3 veces aplicada a cada una de las características que definen a un sistema HAC, para este proceso se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{S}{(1 - U)}$$

Donde R=tiempo de respuesta, S=tiempo del servicio, y U=carga. De esta forma, como se ilustra en la Figura 23, se pudieron determinar los tiempos de respuesta del sistema, esto es, cuan rápido responde el sistema al ser puesto a prueba en un posible caso donde se aplique cada una de las características que definen al sistema propuesto.

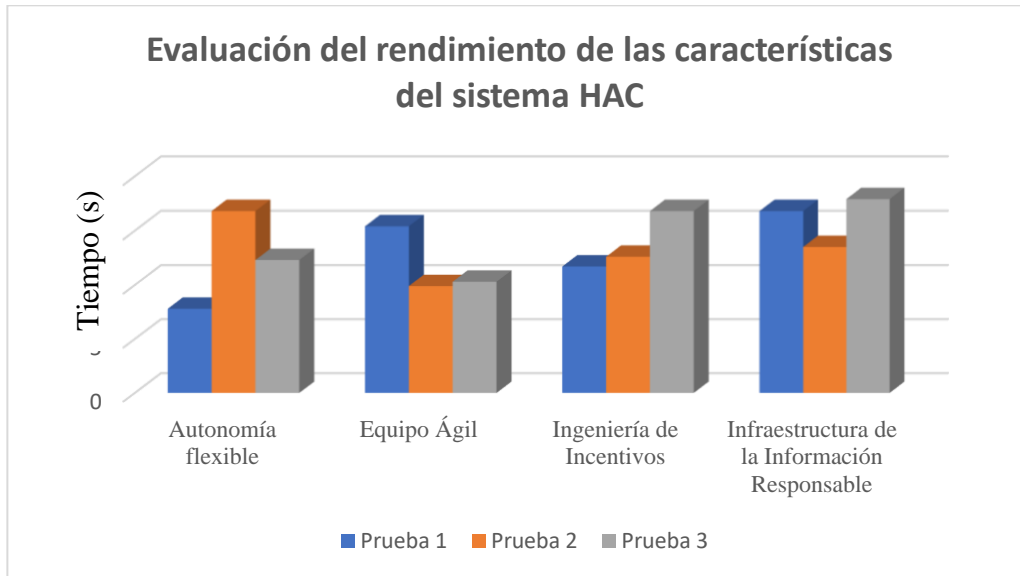


Figura 23. Evaluación del rendimiento del sistema

Como se puede observar en la Figura 23, luego de realizar las pruebas correspondientes, los tiempos de respuestas del sistema para cada característica fueron en promedio los siguientes: autonomía flexible (12,3 s.), equipo ágil (11,86 s.), ingeniería de incentivos (13,7 s.) e infraestructura de la información responsable (16,06 s.). Una vez culminado este proceso se determina que el tiempo promedio que tardó el sistema en cumplir con las cuatro características fue de 53,92 s en promedio. Esta medida, al no ser un sistema restrictivo de tiempo real duro es aceptable en lo que tienen que ver con la eficiencia del sistema. Es importante resaltar que las tareas evaluadas estuvieron encaminadas a cubrir funcionalidades que se describen como sigue.

- La primera característica implementada en el sistema propuesto consistió en seleccionar una tarea con un grado de dificultad baja (conectar la base de datos de peticiones con el sistema) y esperar una solución automática por parte de un agente de software, en caso de que el agente no lograra encontrar una solución al problema este enviaba un mensaje notificando que no hallaba la base de datos o que se encontraba fuera de su rango.
- Para la segunda característica implementada que consistió en la creación de equipos entre agentes de software y agentes de humanos, se seleccionaron los empleados registrados en la base de datos, ya sea de la tabla general o

utilizando los filtros para que formaran equipos con los agentes de software que se creaban para cada equipo ágil y se esperaba hasta que el equipo notificara el cumplimiento de la tarea asignada.

- La tercera característica implementada consistió en calcular el incentivo para cada agente humano una vez culminada la tarea, para aquello el sistema contaba con un botón que permitía realizar este cálculo siempre y cuando la tarea se realizaba con éxito.
- Y por último, la cuarta característica consistió en detectar anomalías o datos repetidos en los datos que proporcionaban las bases de datos para que de esta forma se utilizaran de forma óptima los recursos con los que contaba el sistema.

Evaluación de la usabilidad

En el proceso de diseño, desarrollo e implementación de un sistema el usuario fue quien tuvo la última palabra para determinar si estaba o no terminado el sistema, caso contrario se debían realizar los ajustes necesarios para su posterior implementación en el campo de acción. Por lo tanto, fue necesario realizar las pruebas de usabilidad para determinar las mejoras que se requería el sistema, además de medir la eficiencia y facilidades que brindaba el sistema al usuario.

Para evaluar la usabilidad de un sistema fue necesario tomar en cuenta tres aspectos principales: efectividad, eficiencia y satisfacción. Para realizar el cálculo de cada uno de estos aspectos, se establecieron 10 tarea básicas del sistema:

- T1: Carga las peticiones almacenadas en la base de datos.
- T2: Eliminación de una petición.
- T3: Eliminación de todas las peticiones.
- T4: Salida del sistema.
- T5: Selección de una tarea.
- T6: Carga de la nómina del personal del Sistema Integrado de Seguridad.
- T7: Selección del empleado que debía realizar la tarea.
- T8: Búsqueda del empleado utilizando los filtros (estratégico, táctico u operativo).

- T9: Selección del empleado luego de utilizar filtros.
- T10: Cálculo del valor del incentivo por tarea realizada.

En lo relacionado a la **efectividad**, esta medida se calculó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Efectividad = \frac{\text{número de tareas completadas con éxito}}{\text{número de tareas realizadas}} * 100\%$$

Luego de realizar la evaluación de las 10 tareas previamente especificadas (T1 – T10) se obtuvo los resultados ilustrados en la Figura 24 La efectividad en todos los procesos fue mayor a un 80%, lo que refleja que el sistema cumple en su totalidad con este aspecto fundamental de la usabilidad.

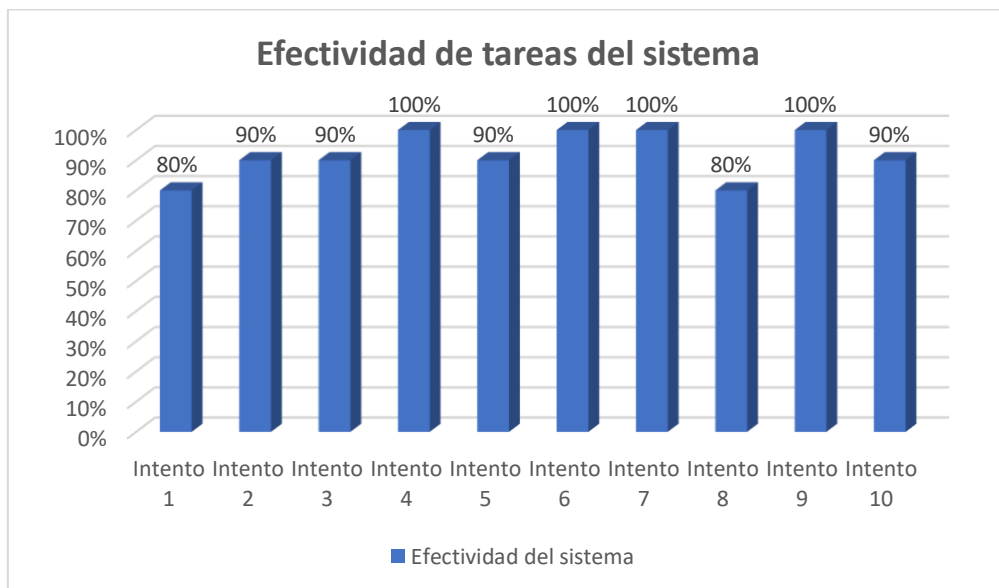


Figura 24. Efectividad del sistema

Por otro lado, en lo relacionado a la **eficiencia** del sistema, esta métrica de usabilidad fue calculada a partir de la siguiente fórmula:

$$Eficiencia = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^N \frac{n_{ij}}{t_{ij}}}{NR}$$

Dónde:

- N= número total de tareas.
- R= el resultado de los usuarios.
- n_{ij} = el resultado de la tarea i por el usuario j; si el usuario completa la tarea con éxito $n_{ij}=1$, caso contrario $n_{ij}=0$.
- t_{ij} = el tiempo empleado por usuario j para completar la tarea i. Si la tarea no se completa con éxito, entonces se mide el tiempo hasta el momento en que el usuario abandona la tarea.

Al aplicar esta fórmula con los datos de las pruebas realizadas por cada una de las tareas (T1 – T0), el resultado obtenido para esta métrica fue el siguiente:

$$Eficiencia = \frac{\frac{8}{38} + \frac{9}{25} + \frac{9}{30} + \frac{10}{27} + \frac{9}{35} + \frac{10}{32} + \frac{10}{31} + \frac{8}{26} + \frac{10}{45} + \frac{9}{34}}{10 \times 10} = 0.03 \text{ tareas/s}$$

Asimismo, en los relacionado a la métrica de **satisfacción**, en relación con la usabilidad del sistema, la cual consiste en entregar un cuestionario donde el usuario mide la dificultad que le tomó realizar una tarea, ya sea que la haya completado o no. Existen muchos cuestionarios populares para realizar este tipo de pruebas. En este caso se utilizó la de SEQ, que consiste en una sola pregunta donde se califica la tarea en un rango de 1 a 7 según su dificultad, 1 es muy difícil y 7 muy fácil.

En la Figura 25 se puede apreciar los resultados obtenidos en la evaluación de este aspecto, reflejando un alto grado de satisfacción con el sistema.

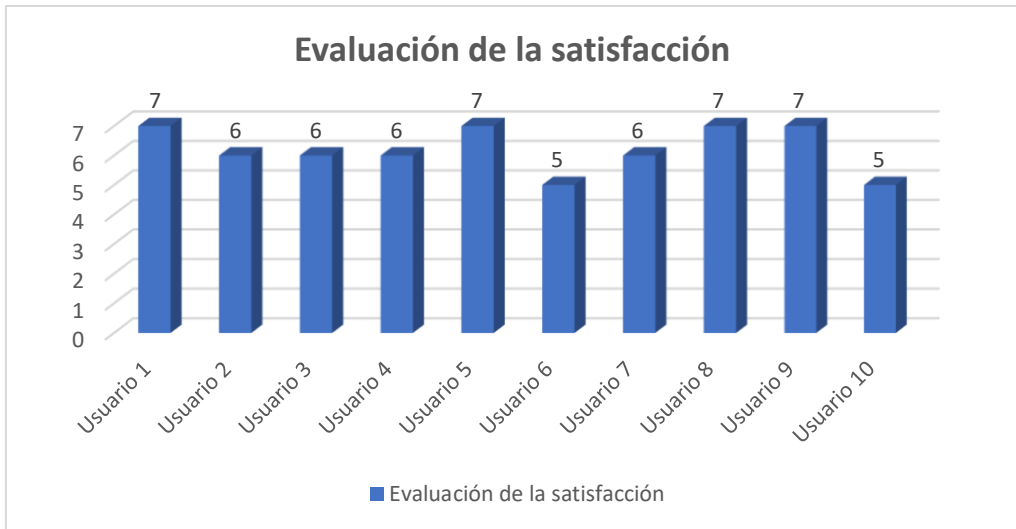


Figura 25. Evaluación de la satisfacción

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Como parte de los resultados obtenidos en este trabajo investigativo, se encuentra la implementación de las características y patrones de interacción de los Sistemas HAC para actuar y tomar decisiones en casos de desastres naturales (específicamente terremoto). Este marco de trabajo cumple los requerimientos necesarios para ser utilizado por los diversos organismos de socorro que se encuentran en la provincia de Esmeraldas para futuros proyectos relacionados con la solución de problemas en caso de terremoto u otros desastres naturales, ya que este proyecto tiene un amplio alcance y es de propósito general.

El sistema respondió con éxito a las pruebas a las que estuvo sometido, los datos obtenidos mediante la plataforma de Ushahidi respondieron a la simulación de situación de peligro luego de un terremoto, proveyendo de toda clase de datos importantes para la toma de decisiones en los sistemas HAC y mejorando de esta forma tareas como optimización de recursos, conformación de equipos de rescate, planteamiento de objetivos para los equipos, clasificación y resumen de los informes.

En el artículo de Ramchurn et al. [1], titulado “A disaster response system based on human-agent collectives” se aplican varios conceptos y herramientas necesarias para llevar a cabo un proyecto de comunicación entre agentes y humanos. Este proyecto utilizó Ushahidi como herramienta de crowdsourcing y divide el sistema en tres niveles jerárquicos al igual que la presente investigación. Al comparar ambos proyectos se pudo evidenciar que la base de tiempo considerada al momento de realizar ambas investigaciones fue un factor determinante a la hora de analizar los resultados. Cabe recalcar que el presente proyecto tiene un gran potencial de mejora, puesto que los resultados obtenidos en el corto periodo que duró esta investigación fueron satisfactorios. A diferencia de otros proyectos con las mismas características que el presente, éste se realizó en mucho menos tiempo y con menos recursos de los que comúnmente se utilizan, factor que no afectó la calidad final del sistema.

De acuerdo con los resultados de la evaluación realizada a los parámetros rendimiento, capacidad y usabilidad del sistema, se puede decir que el sistema distribuyó de forma adecuada los recursos tecnológicos con los que se contó, esto se

vio reflejado en la rápida respuesta por parte del sistema a las peticiones que realizaba el usuario y a la facilidad de interacción que se tuvo con el sistema.

En los relacionado a los resultados, en el caso del rendimiento se necesitó obtener previamente valores como el tiempo que tardaba el sistema en responder frente a una tarea, el tiempo de interacción sistema-usuario y el número de usuarios conectados a la vez. De esa forma se realizó varias veces el mismo cálculo, obteniendo el tiempo promedio de 53,92 s., demostrando la eficiencia en la respuesta del sistema.

Respecto a la usabilidad, último parámetro evaluado en este proyecto, se basó en el número de tareas completadas con éxito por parte de los usuarios, y el número de tareas realizadas en total. Para el cálculo de este parámetro se realizó un total de 10 pruebas del sistema, arrojando un porcentaje alto de efectividad (mayor que 80%), eficiencia (0,03 tareas/s) y satisfacción (6,2 ponderado sobre una escala de 0 a 10). De esta forma quedó demostrado las facilidades que brinda el sistema al usuario una vez que interactúa con él.

Finalmente, y no menos importante que la evaluación cuantitativa, se realizó una evaluación cualitativa para determinar las capacidades del sistema desarrollado. Se probó la correcta implementación de cada una de las características que definen a un sistema HAC, además de comprobar que todos los elementos del sistema funcionaban de forma correcta de manera integrada. La implementación de una matriz de interrogantes donde se evaluaron 10 aspectos por cada característica del sistema determinó el cumplimiento del objetivo planteado por el proyecto. Sin embargo, es importante resaltar que la evaluación cualitativa de los aspectos de cada una de las características del sistema propuesto, detallados en la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 se cumplieron casi en su totalidad, demostrando que existen aspectos que se pueden mejorar en futuros proyectos relacionados a esta temática. Su implementación incurre en costos económicos que solo una institución puede cubrir.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Una vez culminadas satisfactoriamente cada una de las fases del proyecto que tenía como fin el diseño y desarrollo de un sistema HAC, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se identificaron cada una de las características que definen a un sistema HAC y se diseñaron los mecanismos que permitieron la automatización de cada una de estas cualidades que presenta un sistema HAC.
- Se diseñaron los mecanismos que automatizaron las tareas que se ejecutan en cada uno de los seis patrones que definen a los sistemas HAC, mediante el uso de los protocolos de comunicación entre agentes de software y personas encargadas del manejo de cierta información para la posterior toma de decisiones.
- El sistema facilita a los usuarios la comunicación con otros para agilizar la toma de decisiones en caso de presentarse un terremoto, mediante la implementación de interfaces interactivas y fáciles de usar.
- Luego de definir los mecanismos de automatización de características y patrones de interacción, se implementaron estos diseños en Java utilizando el entorno de desarrollo de agentes de software Jade y consumiendo recursos indispensables para el correcto funcionamiento del sistema.
- Se realizaron las pruebas correspondientes al sistema simulando un entorno real donde se pudieran evaluar las variables propuestas por el investigador, obteniendo como resultado un tiempo promedio de (53,92 s) para el rendimiento del sistema tiempo necesario para la ejecución de las 4 características que definen a un sistema HAC, demostrando así la rapidez de ejecución de las tareas por parte del sistema. Sin embargo, su eficiencia depende de los recursos tecnológicos donde se ejecute el sistema.
- Se evaluaron las 4 características que definen a un sistema HAC mediante la implementación de una matriz que contenía 10 aspectos que están presentes en cada característica, arrojando como resultado el cumplimiento casi en su totalidad de los mismos y dejando claro varios puntos a mejorar a futuro.
- Se midió la facilidad de interacción que brinda el sistema a los usuarios mediante la evaluación de la usabilidad, para aquello fue necesario evaluar las tres

características que definen a la usabilidad, obteniendo como resultado un porcentaje mayor al 80% de efectividad en los procesos, una eficiencia de (0.03 tarea/s) y un alto grado de satisfacción según el método de evaluación empleado para esta característica, demostrando de esta forma el correcto funcionamiento del sistema.

- La correcta asignación de roles y tareas entre los tres niveles que componen los sistemas HAC, reduce la carga de trabajo entre el personal que interviene en el análisis, planificación y toma de decisiones en caso de terremoto. Además, provee un amplio panorama del problema y permite distribuir de forma correcta los recursos humanos con los que se cuenta, evitando las falsas alarmas que se presentan en ciertos casos.

7.2. Recomendaciones

En base a la experiencia adquirida durante el desarrollo de presente proyecto investigativo, se proponen las siguientes recomendaciones para aplicarlas a futuro:

- Mejorar las interfaces gráficas del sistema con el fin de que sean más usables y amigables con los usuarios, que generalmente disponen de poco tiempo para ejecutar acciones en ecosistemas HAC.
- Desarrollar mecanismos complementarios que puedan ser utilizados en la implementación de las 4 características de los sistemas HAC.
- Emplear el sistema en los simuladores a nivel de cantón o parroquia, ya que el sistema es limitado para que sea nacional.
- Incluir nuevas fuentes de datos como drones, robots terrestres, cámaras, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. D. Ramchurn *et al.*, “A disaster response system based on human-agent collectives,” *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 57, pp. 661–708, 2016.
- [2] M. Kim *et al.*, “A HARMS-based Heterogeneous Human-Robot Team for a Gathering and Collection Function,” *16th Int. Symp. Adv. Intell. Syst.*, pp. 4–7, 2015.
- [3] A. Wagoner *et al.*, “Humanoid robots rescuing humans and extinguishing fires for Cooperative Fire Security System using HARMS,” *ICARA 2015 - Proc. 2015 6th Int. Conf. Autom. Robot. Appl.*, no. 207689, pp. 411–415, 2015.
- [4] D. Richards and A. Stedmon, “Designing for human-agent collectives: display considerations,” *Cogn. Technol. Work*, vol. 19, no. 2–3, pp. 251–261, 2017.
- [5] G. Fortino, W. Russo, C. Savaglio, W. Shen, and M. Zhou, “Agent-oriented cooperative smart objects: From IoT system design to implementation,” *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst.*, vol. 48, no. 11, pp. 1949–1956, 2018.
- [6] Y. Kim, J.-W. Jung, J. C. Gallagher, and E. T. Matson, “An Adaptive Goal-Based Model for Autonomous Multi-Robot Using HARMS and NuSMV,” *Int. J. Fuzzy Log. Intell. Syst.*, vol. 16, no. 2, pp. 95–103, 2016.
- [7] S. A. Mostafa, A. Mustapha, M. S. Ahmad, and M. A. Mahmoud, “An Adjustable Autonomy Management Module for Multi-agent Systems,” in *Procedia Computer Science*, 2017.
- [8] S. D. Ramchurn *et al.*, “Human-agent collaboration for disaster response,” *Auton. Agent. Multi. Agent. Syst.*, vol. 30, no. 1, pp. 82–111, 2016.
- [9] D. Chumachenko, “On Intelligent Multiagent Approach to Viral Hepatitis B Epidemic

- Processes Simulation,” *Proc. 2018 IEEE 2nd Int. Conf. Data Stream Min. Process. DSMP 2018*, pp. 415–419, 2018.
- [10] D. Jones, J. E. Fischer, T. Rodden, S. Reece, S. D. Ramchurn, and S. Allen, “Augmenting the Bird Table: Developing Technological Support for Disaster Response,” *Procedia Eng.*, vol. 107, pp. 54–58, 2015.
- [11] K. Sasai, T. Hoshino, H. Nagasawa, R. Fukutani, and T. Kinoshita, “A Flexible Collaboration Mechanism between Humans and Agents on Disaster Recovery of Network Systems,” *2018 IEEE 7th Glob. Conf. Consum. Electron. GCCE 2018*, pp. 147–150, 2018.
- [12] A. R. Wagoner and E. T. Matson, “A task manager using an ontological framework for a HARMS-based system,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 7, no. 4, pp. 457–463, 2016.
- [13] Y. Cao and H. Wang, “The study on engineering supervision incentive system based on asymmetric information,” *2011 2nd Int. Conf. Artif. Intell. Manag. Sci. Electron. Commer. AIMSEC 2011 - Proc.*, pp. 3559–3562, 2011.
- [14] A. L. Tambyraja, C. A. McCrea, R. W. Parks, and O. J. Garden, “Attitudes of medical students toward careers in general surgery,” *World J. Surg.*, vol. 32, no. 6, pp. 960–963, 2008.
- [15] A. Rosenfeld, N. Agmon, O. Maksimov, and S. Kraus, “Intelligent agent supporting human–multi-robot team collaboration,” *Artif. Intell.*, vol. 252, no. August, pp. 211–231, 2017.
- [16] M. C. Duffy and R. Azevedo, “Motivation matters: Interactions between achievement goals and agent scaffolding for self-regulated learning within an intelligent tutoring system,” *Comput. Human Behav.*, vol. 52, pp. 338–348, 2015.
- [17] A. Khanna, R. Goyal, M. Verma, and D. Joshi, “Intelligent Traffic Management System for Smart Cities,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 958, no. 2, pp. 152–164, 2019.
- [18] Y. Rizk, M. Awad, and E. W. Tunstel, “Decision Making in Multiagent Systems: A Survey,” *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 514–529, 2018.
- [19] J. Xie and C.-C. Liu, “Multi-agent systems and their applications,” *J. Int. Counc. Electr. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 188–197, 2017.
- [20] M. Wu, W. H. Cao, J. Peng, J. H. She, and X. Chen, “Balanced reactive-deliberative architecture for multi-agent system for simulation league of RoboCup,” *Int. J. Control. Autom. Syst.*, vol. 7, no. 6, pp. 945–955, 2009.
- [21] C. Biazus and M. Roisenberg, “The Development of a Hybrid, Distributed Architecture for Multiagent Systems,” *2008 IEEE Conf. Intell. Syst.*, 2008.
- [22] J. L. Posadas, J. L. Poza, J. E. Simó, G. Benet, and F. Blanes, “Agent-based distributed architecture for mobile robot control,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 21, no. 6, pp. 805–823, 2008.

- [23] C. Rodríguez, J. Paola, and R. Gómez, “Arquitectura de Comunicación entre Frameworks Jade-Symfony Communication Architecture between Jade – Symphony ’ s Frameworks,” vol. 4, no. 1, 2007.
- [24] A. V. Barenji, R. V. Barenji, D. Roudi, and M. Hashemipour, “A dynamic multi-agent-based scheduling approach for SMEs,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 89, no. 9–12, pp. 3123–3137, 2017.
- [25] D. Krzywicki, W. Turek, A. Byrski, and M. Kisiel-Dorohinicki, “Massively concurrent agent-based evolutionary computing,” *J. Comput. Sci.*, vol. 11, pp. 153–162, 2015.
- [26] S. Iqbal, W. Altaf, M. Aslam, W. Mahmood, and M. U. G. Khan, “Application of intelligent agents in health-care: review,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 46, no. 1, pp. 83–112, 2016.
- [27] S. Răileanu, F. D. Anton, T. Borangiu, and S. Anton, “Design of High Availability Manufacturing Resource Agents Using JADE Framework and Cloud Replication,” *Stud. Comput. Intell.*, vol. 762, pp. 201–215, 2018.
- [28] F. Bellifemine, A. Poggi, and G. Rimassa, “JADE – A FIPA-compliant Agent Framework,” *Fourth Int. Conf. Pract. Appl. Intell. Agents Multi-Agent Technol. (PAAM 1999)*, pp. 97–108, 1999.
- [29] S. Moran, E. Luger, and T. Rodden, “Exploring patterns as a framework for embedding consent mechanisms in human-agent collectives,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 8610 LNCS, pp. 475–486, 2014.
- [30] R. Nisse, G. Baldini, G. Steri, and V. Mahieu, “Informed consent in Internet of Things: The case study of cooperative intelligent transport systems,” *2016 23rd Int. Conf. Telecommun. ICT 2016*, 2016.
- [31] Y. O’Connor, W. Rowan, L. Lynch, and C. Heavin, “Privacy by Design: Informed Consent and Internet of Things for Smart Health,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 113, pp. 653–658, 2017.
- [32] R. Gomer, M. C. schraefel, and E. Gerding, “Consenting agents,” pp. 653–658, 2014.
- [33] J. Michael and A. Salice, “The Sense of Commitment in Human–Robot Interaction,” *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 9, no. 5, pp. 755–763, 2017.
- [34] S. Shin, B. C. Min, J. Rayz, and E. T. Matson, “Semantic knowledge-based language education device for children with developmental disabilities,” *Proc. - 2017 1st IEEE Int. Conf. Robot. Comput. IRC 2017*, pp. 340–345, 2017.
- [35] W. S. Lasecki, “Real-time conversational crowd assistants,” p. 2725, 2013.

