

# Sistema de Gestión de Riesgo Personal Basado en Agentes Autónomos

**Proyecto de Investigación**

Wulfrano Arturo Luna-Ramírez (1), Anasol Peña-Rios (2, 3), Lucila Mercado Colín(1)  
Emmanuel Ferreyra (2), Miguel Capllonch (4) y Gustavo Ortiz Hernández (5)

1 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, Ciudad de México, México.

{lmercado,wluna}@correo.cua.uam.mx

2 School of Computer Science & Electronic Engineering, University of Essex, UK.

{acpena,eferre}@essex.ac.uk

3 BT Research Labs, Ipswich, UK.

anasol.penarios@bt.com

4 Sin Adscripción actual

mcjrcmc@gmail.com

5 Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Xalapa, México.

gustortiz@uv.mx

# Índice

1. Datos generales.....	4
1.1 Resumen del proyecto.....	4
1.1.1 Disciplina.....	4
1.1.2 Institución.....	5
1.2 Participantes.....	5
1.2.1 Responsable.....	6
2. Justificación y planteamiento.....	6
3. Antecedentes históricos, teóricos y conceptuales.....	8
3.1 Respuesta ante emergencias derivadas de desastres.....	8
3.2 SSATRs y Sistemas Multi-Agente.....	8
3.3 Conceptos relacionados.....	9
Respuesta a desastres.....	9
Interacción Humano-Computadora y Diseño Centrado en el Ser Humano.....	9
Sistemas Multi-Agente.....	12
4. Preguntas y supuestos de investigación (e hipótesis).....	13
5. Objetivos.....	14
5.1 Objetivo General.....	14
5.2 Objetivos específicos.....	15
6. Metodología.....	15
6.1.1 Visión general de SMA <sub>SSATR</sub> .....	16
6.2 Etapas del SMA <sub>SSATR</sub> .....	18
7. Metas (expresadas en productos de investigación).....	20
7.1 Generación de conocimientos.....	21
7.2 Solución de problemas.....	21
7.3 Publicaciones.....	21
7.3.3 Divulgación.....	22
7.4 Prototipos.....	22
8. Cronograma de actividades.....	22
8.1 Descripción de actividades por etapas o por año.....	22
1er año.....	22
2o año.....	23
3er año.....	23
9. Requerimientos y presupuesto.....	24
9.1 Resumen financiero (global y por etapas).....	24
9.2 Opciones adicionales de financiamiento.....	26
10. Impacto de la Propuesta en los Planes y Programas Educativos de la Universidad.....	26
11. Impacto de la Propuesta en las Líneas Emblemáticas de la UAM-C.....	27
11.1 Sustentabilidad.....	27
11.2 Cambio tecnológico.....	27
11.3 Calidad de vida.....	28
12. Vinculación.....	28
13. Bibliografía.....	28



# 1. Datos generales

Título: Sistema de Gestión de Riesgo Personal Basado en Agentes Autónomos

## 1.1 Resumen del proyecto

Una constante histórica que ha acompañado a la humanidad es la presencia de fenómenos adversos ya sea de carácter natural (sismos, inundaciones, erupciones volcánicas, etc.) o antrópicos (conflictos sociales de diversa índole). Tales eventos provocan disturbios y daños a la infraestructura y bienes de las poblaciones, lo que incluye víctimas fatales, y su afectación puede ser tanto colectiva como individual.

Los desastres configuran una gama de riesgo diferenciada para personas y comunidades según los grados de vulnerabilidad de cada una de estas. Sus consecuencias se intensifican debido a una de las principales características de la mayoría de ellos: su impredecibilidad.

Afortunadamente, los esfuerzos tecnológicos nos permiten acercarnos a la identificación de las causas y circunstancias que se asocian al origen y ocurrencia de los desastres. Ejemplo de ello son los Sistemas de Seguridad y Alerta Temprana de Riesgos (SSATR).

Este proyecto se orienta al desarrollo de un sistema de detección y alerta oportuna de desastres naturales y antrópicos, que provea ayuda a la toma de decisiones de dos tipos de usuarios primarios: a) víctimas y b) equipos de respuesta y gestión de desastres. El sistema propuesto se busca:

- Proporcionar información pertinente a los usuarios para mejorar las condiciones de las víctimas de un evento desastroso que los lleve a evitar el peligro y minimizar el riesgo;
- Aumentar la eficiencia y coordinación de los equipos de emergencia durante sus intervenciones; y
- Apoyar a los tomadores de decisiones que les permita mejorar las condiciones de seguridad y gestión del riesgo.

La propuesta consiste en un SSATR compuesto de múltiples agentes heterogéneos comunicados tanto entre ellos, como con otros componentes: usuarios primarios y secundarios (gestores de información y personal de mantenimiento), infraestructura pública, autoridades y otros sistemas de cómputo.

### 1.1.1 Disciplina

Aunque este proyecto podría englobarse dentro de las Ciencias de la Computación, vale la pena señalar que por la naturaleza del problema es de carácter interdisciplinario. Tiene fuerte presencia de las el Diseño de interfaces e interacción y la Ergonomía Cognitiva, por estar fuertemente relacionado su proceso con la indagación, desarrollo y evaluación con el Diseño Centrado en el Usuario, es decir con usuarios reales, la Usabilidad, la Inteligencia Artificial, las

Tecnologías Inmersivas, las Interacciones Humano-Computadora y el Cómputo Ubicuo.

### 1.1.2 Institución

En el proyecto participan investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Cuajimalpa mediante sus departamentos de Diseño y Tecnologías de la Información, la Universidad Veracruzana y la Universidad de Essex, en el Reino Unido.

## 1.2 Participantes

Los investigadores que conforman el grupo de trabajo del proyecto son:

- Dra. Anasol Peña-Rios
  - Área de experiencia: Interacciones Humano-Computadora, Tecnologías Inmersivas, Cómputo Ubicuo, Internet de las Cosas, Ambientes Inteligentes, Gemelos Digitales.
  - Colaborará principalmente en las actividades relacionadas con el diseño de interacciones humano-computadora basadas en tecnologías inmersivas (realidad virtual, realidad mixta y realidad aumentada); diseño de arquitecturas enfocadas al cómputo ubicuo, ambientes inteligentes y el internet de las cosas; y la formación de recursos humanos especializados en los temas del proyecto.
- Dr. Emmanuel Ferreyra
  - Área de experiencia: Simulación Dirigida por Objetivos, Inteligencia Artificial Explicable, Optimización Matemática, Aprendizaje Automático, Computación Evolutiva, Sistemas Difusos, Evaluación de Riesgo, Ingeniería Financiera, Arquitecturas Orientada a Recursos e Integración de Sistemas.
  - Colaborará principalmente en las actividades relacionadas con el diseño de algoritmos y estrategias de operación de agentes; desarrollo de técnicas de aprendizaje automático; estudio de riesgo y optimización en la toma automática de decisiones; integración y consumo de los componentes de seguridad y alertas; modelado y diseño de los mecanismos para garantizar la interpretabilidad y la integridad del SSATR propuesto; y la formación de recursos humanos especializados en los temas del proyecto.
- Dr. Miguel Capllonch
  - Área de experiencia: Modelado de Sistemas Físicos, Neurociencia Computacional, Meteorología y Aprendizaje de Máquinas.
  - Colaborará principalmente en las actividades relacionadas con el diseño y modelado de las estrategias de interacción y cooperación de los componentes del sistema, diseño de algoritmos, programación de los distintos componentes, integración del sistema con bases de datos meteorológicos y ambientales y la formación de recursos humanos especializados en los temas del proyecto.
- Dr. Gustavo Ortiz Hernández
  - Área de experiencia: Sistemas Multi-Agente, Inteligencia Artificial, Ingeniería de Software Orientada a Agentes, Desarrollo de Sistemas y Aplicaciones Móviles, y Agroecología.
  - Colaborará principalmente en las actividades relacionadas el diseño e implementación de la arquitectura multi-agente, con la creación/selección de

plataformas multi-agente y desarrollo de aplicaciones móviles; y la formación de recursos humanos especializados en los temas del proyecto.

- Mtra. Lucila Mercado Colín
  - Área de experiencia: Diseño y Evaluación Ergonómica de Productos.
  - Colaborará principalmente en las actividades relacionadas con la indagación de la información que permita definir las características del sistema, el desarrollo aplicando estrategias de la Ergonomía Cognitiva para proveer información sobre factores humanos y la evaluación del sistema para verificar el nivel de desarrollo que alcanzó el proyecto; y la formación de recursos humanos especializados en los temas del proyecto.

También colaborarán en este proyecto estudiantes de Licenciatura y Maestría tanto inscritos en la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Cuajimalpa, como en otras instituciones.

### 1.2.1 Responsable

- Dr. Wulfrano Arturo Luna-Ramírez
  - Área de experiencia: Inteligencia Artificial, Sistemas Multi-Agente, Procesamiento de Lenguaje Natural, Aprendizaje Automático, e Ingeniería de Software Orientada a Agentes.
  - Colaboración: en todas las actividades con especial énfasis en diseño e implementación de arquitecturas multi-agente y técnicas de aprendizaje para las estrategias propuestas, y aquellas relacionadas con la formación de recursos humanos especializados en los temas del proyecto.

## 2. Justificación y planteamiento

A lo largo de la historia los distintos grupos humanos se han enfrentado a una variedad de desastres, cuyo origen puede ser o natural (producto de la actividad de los elementos y evolución natural del medio ambiente) o antrópico (por intervención humana).

Estos eventos afectan tanto individualmente como de manera colectiva, provocan daños y afectaciones de diversa índole, que no se circunscriben sólo al ámbito material, sino que frecuentemente trascienden a víctimas mortales. Muestra de ello son los huracanes, incendios, inundaciones y terremotos que han tenido lugar en distintas latitudes, de las cuales no está exento nuestro territorio, como nos lo recuerda el reciente sismo de 2017.

A los desastres se les puede asociar una gama de peligro y riesgo [1], [2], susceptible de presentarse tanto en las ciudades como en el campo. El peligro es entendido como un evento natural o humano disruptivo de la actividad común y potencialmente dañino tanto para la economía como para el medio. E, en tanto que el riesgo es la probabilidad de sufrir consecuencias adversas para el ser humano.

Además, las características socioeconómicas y de infraestructura de las poblaciones e individuos, así como su ubicación en los territorios, determina su grado de vulnerabilidad, esto es, sus posibilidades de permanecer a salvo y evitar los efectos nocivos de los desastres. Sus

consecuencias se intensifican debido a una de las principales características de la mayoría de ellos: su impredecibilidad.

La detección y prevención de desastres ha ocupado a diversos sectores, desde la academia hasta el gobierno y la iniciativa privada. El estudio y operación de la respuesta a crisis derivadas de los desastres es un dominio que requiere de control distribuido, y que involucra gran cantidad de datos, incertidumbre, ambigüedad, con múltiples partes interesadas, que sostienen objetivos diferentes y disponen de recursos limitados que varían continuamente [3].

El avance tecnológico actual posibilita la recolección de datos en tiempo (casi) real mediante el uso de sensores y sistemas de detección, tanto ambientales (dispuestos en la infraestructura), como personales (adicionados a los dispositivos móviles o prendables/vestibles). Estos datos, combinados con datos históricos de diversa índole, provenientes tanto de sistemas como de los mismos usuarios, permite proveer a los ciudadanos y autoridades información útil en la planeación y gestión de desastres que minimicen sus impactos y eviten los riesgos personales y colectivos ante tales eventos.

Esto ha llevado al desarrollo de sistemas de detección y prevención de riesgos, conocidos como Sistemas de Seguridad y Alerta Temprana de Riesgos (SSATR) [1], [4], [5], y [6]. Pese a su importancia, aún existe una brecha en su efectividad en lo que respecta a la salvaguarda de la integridad de los ciudadanos. La inseguridad está asociada a un nivel bajo de capacidades técnicas (recursos, conocimiento y servicios de alerta operativos) presente en ciertos sectores y comunidades, particularmente en los países en vías de desarrollo (aunque este fenómeno no es solamente exclusivo en ellos). Una forma de disminuir esta brecha es la integración de los sistemas de alerta con los recursos e infraestructura ya existentes (sistemas actuales, bancos de datos, metodologías de minimización de riesgos) que potencien sus capacidades; diseñados con una perspectiva centrada en la gente, cuyo alcance vaya de lo comunitario a lo nacional.

Por otro lado, enfoque de desarrollo de software basado en Sistemas Multi-Agente proporciona un conjunto de herramientas y abstracciones que superan a otros enfoques como el orientado a objetos y permiten una modularización y acoplamiento mayor de los sistemas informáticos. Estos sistemas permiten la implementación de estrategias de operación y aprendizaje automático de forma que se integren al conjunto de habilidades representadas, proveyendo una manera útil de modelar sistemas completos y sus componentes, considerando además factores como la auto-organización y la emergencia de fenómenos derivados de la interacción entre ellos [7].

Aunado a lo anterior, el Diseño Centrado en el Ser Humano [8] permite que los sistemas interactivos sean más útiles a las necesidades del usuario; aplica los conocimientos y técnicas provenientes de factores humanos, la ergonomía y la usabilidad [9]. Este tipo de diseño se enfoca en una serie de técnicas multi disciplinares y donde cada decisión tomada debe estar basada en las necesidades, objetivos, expectativas, motivaciones y capacidades de los usuarios, lo cual permite la mejor aceptación de las herramientas propuestas, y por consecuente, resultados mas eficientes en cuanto a los objetivos, resolviendo necesidades concretas de los usuarios.

A partir de estos dos enfoques, en este proyecto se aborda el problema de generar un Sistema de Seguridad y Alerta Temprana de Riesgos basado en agentes artificiales heterogéneos (tanto reactivos como cognitivos), cuyo fin es identificar las situaciones potenciales de desastre que le ofrezcan al usuario final (ya sea personas individuales o cuerpos de rescate y seguridad) información útil para ponerse a salvo y faciliten la intervención y las actividades de rescate y salvamento. La propuesta abarca el análisis de los tres momentos de un desastre: el antes, el durante y el después del evento. El sistema propuesto incorpora el uso de dispositivos móviles y su diseño considera una perspectiva centrada en el usuario.

## 3. Antecedentes históricos, teóricos y conceptuales

En esta sección se presentan los antecedentes del proyecto, los enfoques teóricos en los que se basa y sus conceptos relacionados para el mejor entendimiento de la propuesta en la que concurren agentes cognitivos y reactivos (además de otros elementos de cómputo encargados de realizar tareas inteligentes para el cumplimiento de los objetivos de diseño) y los enfoques y técnicas de diseño centrado en el ser humano.

### 3.1 Respuesta ante emergencias derivadas de desastres

La respuesta a las emergencias derivadas de desastres naturales o humanos involucran a varios sectores y son de carácter multi e interdisciplinario. Una estrategia de respuesta comúnmente incluye las siguientes fases [10]:

- Planeación
- Análisis de vulnerabilidad
- Implementación del sistema de agentes y estrategias
- Monitoreo y detección de acciones preventivas (alerta temprana)
- Ejecución (alerta, coordinación de roles, decisión)
- Retroalimentación (evaluación, readecuación/mejora continua)

### 3.2 SSATRs y Sistemas Multi-Agente

Los componentes principales para que un SSATR sea completo y efectivo involucra cuatro elementos interrelacionados [1]:

1. Detección y valoración de riesgos
2. Servicios de monitoreo y alerta
3. Diseminación y comunicación



#### 4. Capacidad de respuesta

Además, según el esquema de trabajo propuesto por [11] la respuesta a emergencias debiera estar integrada por tres componentes:

- Los desastres (naturales o antrópicos)
- Los agentes involucrados (cuerpos de rescate y seguridad), y
- Una aplicación computacional para dar respuesta a las crisis

A continuación se listan distintos conceptos para entender mejor la propuesta del proyecto.

El desarrollo de SSATRs usando agentes artificiales heterogéneos se ha emprendido desde diferentes enfoques y énfasis conceptuales o arquitectónicos. En [12], los autores se basan en el sistema inmunológico humano combinado con algoritmos genéticos para explotar sus características adaptativas en el desarrollo de sistemas de gestión de emergencia e identificación del riesgo. Pese a que se indica el uso de agentes artificiales, el elemento central es su enfoque inmunológico. En [11], se realiza un análisis del diseño de varios SMA enfocados en la simulación de respuesta a crisis. Cabe señalar que las implementaciones examinadas (DrillSim [13], DEFACTO [14], ALADDIN [3], RoboCup Rescue [15] y FireGrid [16]) están más centradas en la simulación de sistemas y no propiamente al apoyo *in situ* o durante el evento. Además, los autores mencionan que los sistemas analizados adolecen de nula tolerancia a fallos, rigidez y ausencia de aprendizaje y/o adaptación.

### 3.3 Conceptos relacionados

#### Respuesta a desastres

Un **peligro** es un evento físico, fenómeno natural o actividad humana que resulta ser potencialmente dañino y puede ocasionar muertos y heridos, daños a la propiedad, perturbaciones económicas y sociales, o una degradación del medio ambiente.

En este contexto, la **vulnerabilidad** corresponde a condiciones determinadas por factores físicos, sociales, económicos y ambientales que potencian la susceptibilidad de una comunidad a ser impactadas negativamente por un peligro.

Al combinar los dos conceptos anteriores, se puede entender el **riesgo** como la probabilidad de que la exposición ante un peligro humano o natural, dada las condiciones de vulnerabilidad que se tengan, desencadene consecuencias dañinas o pérdidas inesperadas (ambientales, materiales y humanas).

#### Interacción Humano-Computadora y Diseño Centrado en el Ser Humano

Cualquier persona que interactúe con un sistema, producto o servicio se considera como un

**usuario.** Esto incluye a personas que operan el sistema, aquellos que aprovechan sus resultados y el personal que le da soporte, calibración y mantenimiento.

Por su parte, los **involucrados** son personas u organizaciones que pueden afectar o verse afectados, o percibirse como afectados por una decisión o actividad. Entre ellos se cuentan los usuarios, compradores, dueños de los sistemas, gestores o aquellas personas que sean afectadas indirectamente por la operación del sistema, producto o servicio. Cada uno de ellos tiene distintas necesidades, requerimientos y expectativas.

Al operar el sistema un usuario cumple determinados propósitos o **metas** (el resultado deseado) y se puede valorar lo completo y exacto de este cumplimiento, lo que se conoce como su **efectividad**. En tanto que una **tarea** es el conjunto de actividades realizadas en la consecución de una meta.

Por otro lado, la **eficiencia** considera la cuantía de los recursos empleados en relación con los resultados obtenidos. Dichos recursos pueden ser tiempo, esfuerzo humano, costos y materiales.

La **satisfacción** se refiere al grado en que las respuestas físicas, cognitivas y emocionales, que el usuario experimenta al operar el sistema, producto o servicio, cumplen con sus necesidades y expectativas. La satisfacción se ve afectada tanto por la valoración del usuario (cómo experimenta la respuesta a la operación) como por el uso previo del sistema, producto o servicio.

La combinación de usuarios, metas y tareas, recursos y ambiente (técnico, físico, social, cultural y organizacional) determinan el **contexto de uso** del sistema, producto o servicio.

El conjunto de percepciones y respuestas derivados del uso presente y anticipado de un sistema, producto o servicio configuran la **experiencia del usuario** que permite observar a las personas de manera integral ya que contempla aspectos sociales, físicos, emocionales y cognitivos y los traduce en atributos para el diseño de los sistemas interactivos. Sus percepciones incluyen emociones, sentimientos, creencias, preferencias, sensaciones, confort, comportamientos, y logros que ocurren antes, durante y después del uso. Además, en la experiencia del usuario confluyen sistémicamente sus características, las del producto o sistemas, las actividades que debe realizar y el entorno de uso en que efectúa la actividad a través la presentación, aspecto, funcionalidad, rendimiento, interactividad, y capacidades asistidas del sistema, producto o servicio; amén del estado físico y psicológico del usuario, sus expectativas y experiencias previas, actitudes, conocimientos y habilidades, y su personalidad, aunado al contexto de uso.

Un concepto relacionado es el de **accesibilidad**, es decir, el grado en que los sistemas, productos, servicios, ambientes e instalaciones, pueden ser usados por individuos pertenecientes a poblaciones con la más amplia gama de necesidades, características y capacidades para lograr metas en determinados contextos de uso (ya sea de modo directo o apoyado por tecnologías de asistencia).

La **usabilidad** se refiere a la facilidad con que las personas pueden utilizar una herramienta

particular o cualquier otro objeto fabricado por humanos con el fin de alcanzar un objetivo concreto [17].

Los **sistemas usables** proporcionan numerosos beneficios, que incluyen la mejora de la productividad, el incremento en el bienestar del usuario, evitar el estrés, una mayor accesibilidad y disminución de errores de comunicación de la información y el riesgo de sufrir daños.

Para lograr sistemas eficiente y satisfactorios es necesario establecer los requerimientos del sistema (usuario, producto, actividad y entorno). Un **requerimiento** es una condición o capacidad que debe cumplirse o estar presente en los sistemas, sus componentes, productos o servicios para satisfacer un acuerdo, estándar o especificación o documento formalmente impuesto.

El **error de uso** se refiere a una acción u omisión (cometida por el usuario) al utilizar el sistema, producto o servicio que deriva en un resultado distinto al esperado por el fabricante o el usuario. Tales errores comprenden la inhabilidad para completar una tarea, y pueden provenir divergencias entre las características del usuario, la interfaz, las tareas, o el ambiente. El usuario puede o no estar consciente de la ocurrencia de un error de uso. No se consideran en esta categoría los resultados inesperados de un sistema interactivo o aquellos derivados de un mal diseño. Cabe señalar que el término error de uso busca no imputarle la responsabilidad directa del error al usuario, por ello se prefiere al *de error humano o de usuario*.

El **daño debido al uso** de un sistema, producto o servicio se refiere a las consecuencias negativas concernientes a la salud, la seguridad, las finanzas, y el ambiente, generadas al usuario o a cualquiera de los interesados.

La disciplina encargada del estudio de las interacciones humanas y otros elementos de un sistema se conoce como **ergonomía y factores humanos**, incluye la profesión que aplica teorías, principios, datos y métodos para el diseño que optimice el bienestar humano y el rendimiento del sistema completo.

El **Diseño Centrado en el Ser Humano** (DCH) conocido como HCD del inglés (*Human-centred design*), es un enfoque al diseño y desarrollo de sistemas interactivos orientado al uso del sistema; aplica factores humanos, ergonómicos y técnicas y conocimientos provenientes de la usabilidad. Al DCH también se le conoce como **Diseño Centrado en el Usuario** (DCU).

Finalmente, existen ciertos **requerimientos del DCH**:

1. Entender y especificar el contexto de uso (usuarios, tareas y ambientes).
2. Especificar los requerimientos del usuario con el detalle suficiente para guiar el diseño.
3. Producir soluciones de diseño que cumplan estos requerimientos.
4. Realizar evaluaciones centradas en el usuario para el diseño de soluciones y sus respectivas modificaciones derivadas de los resultados de éstas.

## Sistemas Multi-Agente

El término **agente** define a un sistema computacional, tanto *hardware* como *software* situado en un ambiente, en el que se desenvuelve con el fin de conseguir sus objetivos de diseño [18].

Se le denomina **sensación** al conjunto de señales y lecturas que un agente es capaz de recibir como entrada a través de sus dispositivos de entrada: cámaras, micrófonos, dispositivos para detectar luces, vibraciones, etc.; es decir, el flujo de datos proveniente de sus sensores.

En tanto que la **percepción** es una sensación ya procesada, es decir, es la interpretación o clasificación de una sensación o grupo de ellas dentro de un determinado dominio. Así, cada sensación o grupo de ellas se asigna un significado relevante.

Cuando un agente está trabajando en pro de algo, a ese algo se le denomina **meta**. Dependiendo de la arquitectura del agente, también puede denominarse tarea, objetivo o propósito o deseo.

Un suceso significativo al que el agente debería responder de alguna manera se conoce como **evento**. Un evento puede ser extraído de las percepciones o generarse por la operación interna del ciclo de procesamiento del agente.

Un **protocolo** designa a la definición de patrones de interacción válidos entre agentes (como la secuencia de mensajes en una comunicación).

Hay ciertas propiedades inherentes a los agentes, como proactividad (ser persistente en el logro de sus objetivos), deliberación (razonar sobre sus percepciones y estímulos) y capacidad social (intercomunicación entre agentes y con otros sistemas). Esta última característica permite crear ensambles de agentes, conocidos como **Sistemas Multi-Agente** (SMA), que comparten su ambiente e interactúan para conseguir objetivos comunes [19] y [20]. Una característica importante de los SMA es su tolerancia a fallos y su control descentralizado, lo que los hace ideales para enfrentar distintas tareas con alto grado de robustez. Los SMA han sido aplicados a distintos dominios, desde el comercio electrónico y aplicaciones industriales, hasta simulaciones de fenómenos sociales y naturales [19], [21], [22] y [20].

A su vez, un SMA puede estar compuesto por agentes homogéneos (similares en capacidades y diseño) o heterogéneos, que además de cumplir distintas tareas y poseer diferentes capacidades, son diseñados bajo los principios de distintas arquitecturas. Los **agentes reactivos**, implementados como conjuntos de reglas *si-entonces* han sido utilizados extensamente para el desarrollo de SMA [22] y [20] en distintos dominios incluyendo simulaciones de desastres y como apoyo a tareas de salvamento y recuperación post evento. Sin embargo, pese a la facilidad de implementación y su efectividad, los agentes reactivos son insuficientes para representar individuos o conglomerados humanos. Por ello, se ha propuesto una arquitectura más *ad hoc* para representar ciertos aspectos del comportamiento humano: los **agentes cognitivos**, cuya arquitectura es más robusta en cuanto a sus modelos de deliberación [19]. [20], [22], [23]. Dentro de los agentes cognitivos una de las arquitecturas más conocidas y reputadas es la **arquitectura BDI** (del inglés *Belief-Desire-Intention*) que concibe a los agentes desde una **perspectiva intencional**, es decir, incorpora una representación de

**creencias** (el conocimiento que el agente posee), **deseos** (los objetivos a cumplir) e **intenciones** (lo que se propone hacer en un momento dado) para conformar el comportamiento del agente [18], [20], [21] y [23].

Los agentes BDI tienen incorporado su conocimiento procedimental en forma de **planes** que determinan las habilidades o cursos de acción en el ambiente. El conjunto de planes se almacena en una estructura llamada **biblioteca de planes**. Los planes pueden concebirse como una forma de alcanzar una o varias metas. Un plan debe proporcionar: a) una **función de aplicabilidad** que indica si vale la pena ejecutar el plan en las condiciones actuales; y b) un **cuerpo de plan** que puede ser ejecutado para la consecución de la meta. Los cuerpos de plan se estructuran en forma de pasos que pueden incluir la ejecución de otros planes en la búsqueda de cumplir submetas.

Finalmente, un **ciclo de razonamiento** implementa el proceso de toma de decisiones del agente. Se configura como un ciclo *sensado-deliberación-acción*, donde la toma de decisiones está implementada en la parte deliberativa:

1. Los eventos son procesados para actualizar las creencias y generar las acciones inmediatas.
2. Se actualizan las metas: se generan nuevas metas, las que ya fueron alcanzadas o no son alcanzables se eliminan, y se les asigna una prioridad.
3. Se seleccionan los planes de la biblioteca para conseguir las metas o manejar los eventos.
4. Cada paso de un plan ejecuta el siguiente suplan, lo que origina nuevos eventos, submetas, cambios de creencias y acciones.

## 4. Preguntas y supuestos de investigación (e hipótesis)

El sistema propuesto en este proyecto se orienta primordialmente en la detección de desastres y la difusión de alertas por medios de comunicación masiva y se enfoca generar un modelo de interacción entre sistemas y usuarios primarios y secundarios, escalable a cualquier situación de desastre.

Se busca abstraer las soluciones aplicables a los distintos tipos de amenazas a partir del estudio de las herramientas existentes, con el fin de extenderlas y generar un diseño de la respuesta a cualquier situación de desastre que considere a los usuarios y sus interacciones como su guía principal.

De esta manera, el proyecto se centra en resolver las siguientes preguntas de investigación:

1. Dado un conjunto de peligros identificados, dependiendo de las circunstancias particulares de un usuario, ¿es posible determinar automáticamente el grado de vulnerabilidad para evaluar el riesgo en que se encuentra el usuario?; y si es así,

2. ¿Es posible implementar un protocolo de detección de riesgo, que identifique el tipo y grado de riesgo que dispare procesos de alerta para el usuario y otros componentes del sistema, proporcionando información de seguridad oportuna?
3. ¿Cuál es la manera de interrelacionar los conceptos de las distintas disciplinas y enfoques en el diseño y desarrollo del sistema propuesto?

Para resolver estas preguntas, el proyecto se enfoca en el desarrollo de un sistema para detección y alerta oportuna de riesgo derivado de desastres naturales o antrópicos que proporcione apoyo a la toma de decisiones para víctimas potenciales, y autoridades y equipos de rescate.

Para ello, nuestro enfoque se basa en el uso de agentes artificiales cuyos propósitos son:

- Mejorar la seguridad de los usuarios en condiciones peligrosas, que proporcione información útil para evitar el peligro o minimizar el riesgo.
- Aumentar la eficiencia y coordinación de los equipos de rescate durante las intervenciones, dotándolos de información sobre vulnerabilidad, amenazas y las condiciones físicas del terreno donde sucede el evento.
- Mejorar las condiciones de seguridad, evaluación del riesgo y prevención para todos los usuarios involucrados en el sistema y su área de influencia.

Los supuestos de investigación de los que partimos son los siguientes:

- Los Sistemas Multi-Agente ofrecen la flexibilidad y robustez necesarias para implementar un SSATR y operacionalizar las estrategias de rescate propuestas.
- Las tecnologías inmersivas combinadas con el diseño basado en el ser humano permiten implementar interfaces fáciles de usar y entendibles para todos los usuarios.
- El uso de computo ubicuo, dispositivos prendables/vestibles y el internet de las cosas nos permiten obtener información en tiempo casi real que sirve para alimentar el sistema propuesto.

## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo General

Desarrollar un SSATR basado en un Sistema Multi-Agente compuesto por agentes heterogéneos (cognitivos y reactivos), objetos y artefactos, que identifique riesgos y amenazas personales y colectivas con base en un modelo computacional de interacción que comprenda personas y otros sistemas informáticos, que actúe en beneficio de los usuarios y salvaguarde la integridad de los datos de éstos.

## 5.2 Objetivos específicos

- Diseñar un modelo de representación de los distintos elementos físicos, informáticos y humanos implicados en el dominio de desastres naturales y antrópicos.
- Determinar los tipos y escalas de los riesgos susceptibles de ser contemplados por el rango de operación del SSATR.
- Diseñar una arquitectura Multi-Agente de un SSATR que integre tanto agentes heterogéneos como otros componentes identificados como parte del sistema.
- Diseñar modelos y protocolos de interacción entre agentes, artefactos, usuarios y otros sistemas orientado a la alerta y gestión de desastres naturales y antrópicos.
- Diseñar un modelo para el cálculo del riesgo, la vulnerabilidad y amenaza, personal y colectiva, que considere las particularidades físicas, fisiológicas, psicológicas, ambientales y sociales.
- Desarrollar un modelo de confirmación colectiva del riesgo detectado.
- Desarrollar un protocolo de seguridad y orientación de acciones a tomar antes, durante y después de un desastre natural o antrópico con base en la información autorizada de las fuentes oficiales de rescate y gestión de desastres.
- Desarrollar mecanismos de retroalimentación para los usuarios que les permitan tomar decisiones mas acertadas en momentos de peligro.
- Incorporar consideraciones éticas e implementarlas para el beneficio de los usuarios del sistema y la salvaguarda de la integridad de datos y derechos digitales.
- Indagar sobre los requerimientos del sistema (UOAE)
- Definir los perfiles de usuario.
- Evaluar el sistema para definir la eficiencia y satisfacción del usuario durante la interacción con el producto.

## 6. Metodología

El diseño del Sistema de Seguridad y Alerta Temprana de Riesgo Basado en Agentes (**SMA<sub>SSATR</sub>**) propuesto sigue la metodología de desarrollo de SMA denominada Prometheus [24] propia para el desarrollo de agentes BDI, cuyo nivel de abstracción permite definir la arquitectura del sistema y su interacción interna (entre agentes y con otros sistemas, como redes sociales, dispositivos móviles, servicios web) y externa (con otros sistemas, como el software especializado de las autoridades de seguridad y protección civil). Además, a fin de que el diseño y desarrollo incorpore tanto consideraciones computacionales como humanas, es decir, que tome como base las necesidades de los distintos usuarios, se integran a la metodología los preceptos del DCH.

El abordaje será mixto ya que se integrará información tanto cualitativa (satisfacción) como cuantitativa (eficiencia-rendimiento) en las etapas de indagación y evaluación del proceso de

diseño.

## 6.1 Descripción del SMA<sub>SSATR</sub>

El propósito del SMA<sub>SSATR</sub> es ayudar a los usuarios víctimas de una situación de desastre natural o un conflicto social a evitar el peligro. Se quiere proveer de confirmaciones del riesgo y la amenaza, interoperabilidad con los servicios de rescate y los sistemas de las autoridades civiles, y finalmente, proporcionarle al usuario final indicaciones que lo auxilien a preservar su integridad y seguridad. Adicionalmente, se prevé que el sistema sirva como apoyo a la toma de decisión de autoridades responsables de la gestión de desastres, grupos de emergencia y servicios de rescate.

El proceso de desarrollo de este sistema, para tomar en cuenta la situación de sus usuarios primarios y secundarios se basa en los siguientes puntos:

- Definir los requerimientos del sistema (UOAE).
- Definición de instrumentos útiles para los procesos de indagación y evaluación.
- Definir los tipos de usuario involucrados, las tareas que realizarán, las características del producto y el entorno de uso posible.
- Desarrollo del SMA<sub>SSATR</sub>.
- Desarrollo de modelos, prototipos y simuladores útiles para la evaluación.
- Desarrollo de protocolos de evaluación.

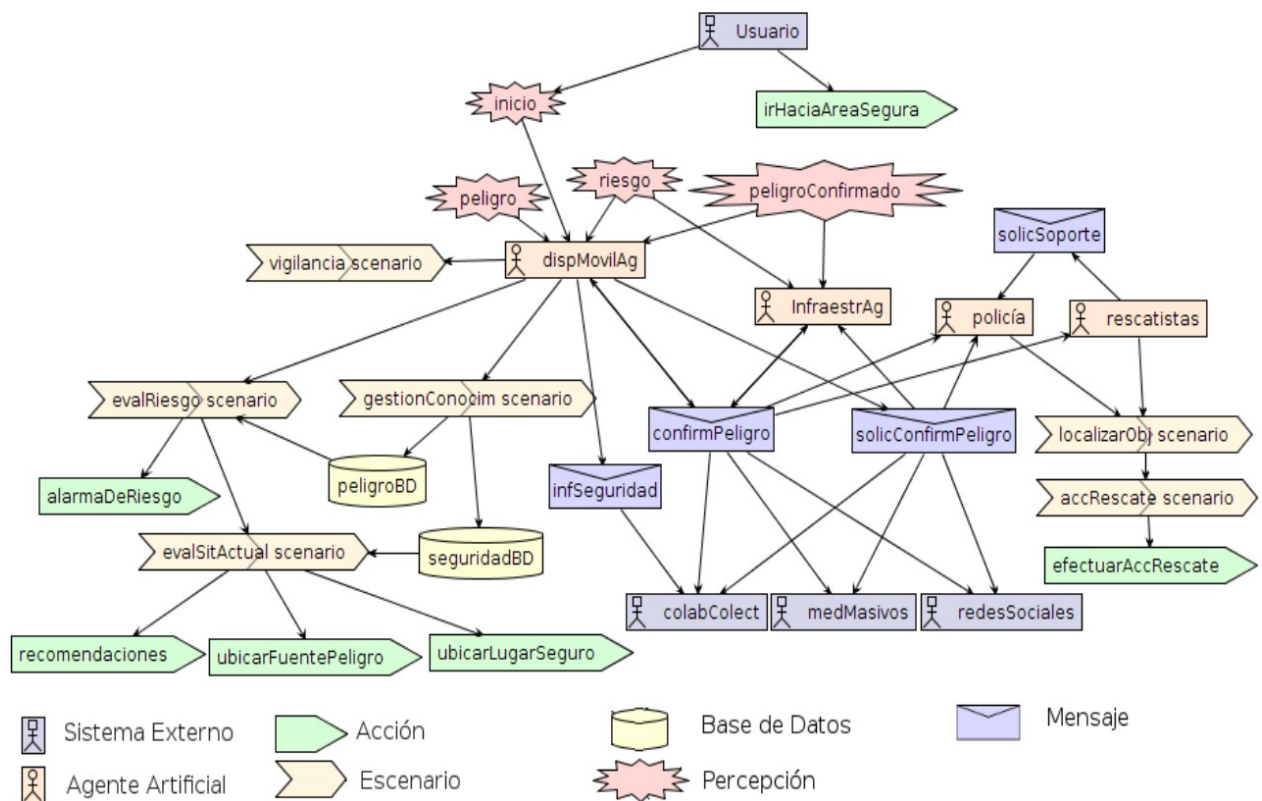
### 6.1.1 Visión general de SMA<sub>SSATR</sub>

La visión general del SMA<sub>SSATR</sub> se muestra en la Figura 1, conocido en la metodología Prometheus como Analysis Overview Diagram. El diagrama referido incluye una vista abstracta del sistema, muestra los agentes que lo componen, así como sus interacciones, y lo más relevante de las percepciones que reciben y las acciones que llevan a cabo.

En breve, el usuario, representado en el diagrama como *Usuario* envía la percepción *inicio* para arrancar el sistema a través de un agente embebido en un teléfono celular (*dispMovilAg*) que actúa en representación del usuario en el SMA<sub>SSATR</sub>. Al iniciar su funcionamiento, el agente *dispMovilAg* busca cumplir sus objetivos dentro de tres posibles escenarios (una descripción abstracta de una secuencia particular de pasos dentro del sistema):

1) *vigilancia* (detección de peligros), 2) *evalRiesgo* (Evaluación del riesgo), y 3) *evalSitActual* (Alerta, soporte y retroalimentación). Para realizarlo, el agente *dispMovilAg* intercambia una serie de mensajes con los agentes embebidos en la infraestructura urbana y rural (*infraestrAg*), los cuerpos de seguridad (rescatistas y policía) y los medios masivos de información (*medMasivos*) junto con las redes sociales (*colabColect* y *redesSociales*) para verificar la existencia de un riesgo para la seguridad del usuario o descartar posibles falsas alarmas, y finalmente, proporcionar las recomendaciones de seguridad pertinentes. Por otro lado, tanto autoridades como cuerpos protección civil son representados como agentes en el sistema cuya función es primordialmente emitir y recibir información de seguridad, como la verificación de riesgos o la reacción ante alarmas para el despliegue de misiones de socorro y rescate en las áreas afectadas por un desastre.





**Figura 1.** Analisis Overview Diagram o Diagrama general del SMA<sub>SSATR</sub>, muestra los agentes involucrados, así como sus percepciones y acciones más relevantes.

La misión principal de los agentes que actúan en representación de los ciudadanos (*dispMovilAg*) es identificar si algún peligro potencial puede caracterizarse como un riesgo y dar soporte al usuario para evitarlo y ponerse a salvo.

El riesgo  $R$  depende de dos componentes: el peligro detectado  $P$  y el grado de vulnerabilidad del usuario  $V$ . De manera simple, esta relación se muestra en la Eq. (1).

$$R = P + V \quad (1)$$

Para ilustrar la forma en que el SMA<sub>SSATR</sub> implementa el protocolo de detección de riesgo, se muestra el comportamiento que los agentes *dispMovilAg* deben realizar, denominado **Comportamiento<sub>SSATR</sub>**:

1. Sensar el ambiente
2. Analizar las sensaciones para obtener su conjunto de percepciones asociadas
3. Identificar un posible peligro  $P$ :
  - (a) Caracterización (determinar sus rasgos y su clasificación)
  - (b) Definir la zona de responsabilidad
  - (c) Identificar la fuente de peligro
  - (d) Caracterizar sus manifestaciones
  - (e) Parametrización y medición
  - (f) Caracterización del área de impacto y el despliegue probable

- (g) Representación gráfica
4. Determinar el grado de vulnerabilidad  $v$  analizando su situación actual (que correspondería a la del usuario final que el agente representa):
    - (a) Identificar la distribución del peligro en el lugar actual
    - (b) Identificar los elementos expuestos del lugar
    - (c) Determinar el grado de exposición del usuario
  5. Determinar si existe un riesgo potencial  $R$  [Eq. (1)]
  6. Clasificar el riesgo  $R_i$ , donde  $i = \{\text{categorías de riesgos identificados}\}$

Finalmente, el sistema incorpora una medición del cumplimiento de su objetivo general, denominada *Índice de Riesgo General* (IRG), que expresa el grado de riesgo colectivo del conjunto  $AG = \text{dispMovilAg} \in SMA_{SSATR}$ , esto es, todos los agentes *dispMovilAg* que componen el sistema. De este modo, cualquier agente que sobrepase un umbral  $TR_{Ag}$  ejecuta el comportamiento  $Comportamiento_{SSATR}$  y contribuye a esta medida. Esto se expresa brevemente en la Eq. (2):

$$IRG = \text{SUMA}(w_i, R_{\text{dispMobAg}_i}) \quad (2)$$

donde:  $i = 1 \dots N, N = |AG|$

La operación general del  $SMA_{SSATR}$  se resume en el Algoritmo 1.

---

### Algoritmo 1: Operación General $SMA_{SSATR}$

---

```

SMASSATR // Las etapas del sistema están encerradas entre
paréntesis
1 Calcular IRG
  mientras VERDADERO hacer
    // Sensación y Percepción (ENTRADA)
    2 Para todos los agentes dispMovilAg:
    3   Detección del peligro P y determinación de la vulnerabilidad V
    // Identificación y gestión del riesgo (PROCESAMIENTO):
    4   Computar el Riesgo:  $R = P + V$ 
    // (SALIDA Y RETROALIMENTACIÓN)
    5   si  $R > TR_{Ag}$  entonces
    6     | Alarma correspondiente a R
    7     | Valoración post evento
    8     | Recalcular IRG
    fin
    9   Interacción con usuarios e intercomunicación con otros sistemas
  fin

```

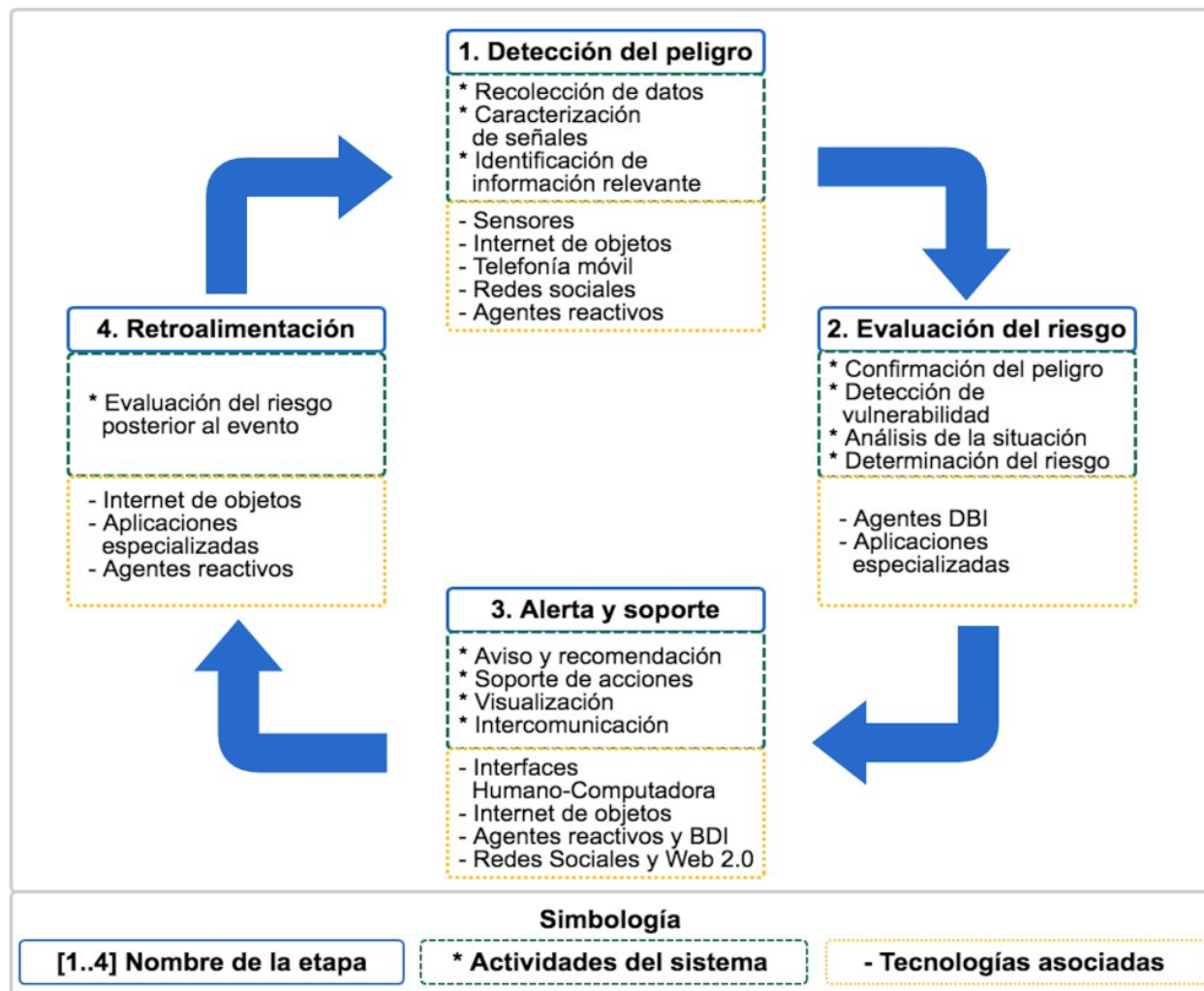
---

## 6.2 Etapas del $SMA_{SSATR}$

La funcionalidad del sistema se compone de cuatro fases:

- **Sensado y detección del peligro** (Entrada de datos): implica la recopilación de datos a través de dos diferentes medios: a) sensores y plataformas de *hardware* especializado, y su procesamiento inicial para obtener información relevante (por ejemplo, la identificación de señales asociadas a sismos o disturbios urbanos), así como b) alertas e información proporcionada por los mismos usuarios (por ejemplo, mediante plataformas sociales o dispositivos prendables/vestibiles) o por sistemas ya existentes (por ejemplo, sistemas gubernamentales).
- **Evaluación del riesgo** (Procesamiento): Caracterización del peligro, análisis de la vulnerabilidad e identificación del riesgo. Realiza un procesamiento tanto individual como colectivo a partir de la información sensorial y la procedente tanto de usuarios como de otros sistemas para determinar el nivel de riesgo, y en su caso, disparar alertas y generar la información relevante para la toma de decisiones, enfocada a que las personas se pongan a salvo, minimizar el riesgo y facilitar la intervención de los rescatistas en el terreno.
- **Alerta oportuna y soporte al usuario** (Salida): Interfaz entre el sistema, los usuarios finales y otros sistemas. Proporciona los avisos de alerta y la información de soporte a la toma de decisiones para usuarios finales. Este componente implica el diseño y la creación de las interfaces para permitir la comunicación entre el sistema, los usuarios finales y otros sistemas, de manera que la información sea accesible de manera ubicua, permitiendo la toma de decisiones oportuna.
- **Valoración post evento** (Realimentación): implica el uso de información autogenerada o proveniente de registros históricos para que el sistema caracterice y clasifique los eventos con miras a su auto mejora, pero que también proporcione información relevante para valorar los riesgos y estimar en lo posible el desenvolvimiento de futuros eventos (cuando sea posible): se busca poner a disposición del usuario visualizaciones o gráficas útiles y pertinentes a la percepción humana para la comprensión de los mismos.

Estas etapas se muestran en la Figura 2 junto con las actividades generales realizadas en cada una. De igual manera, se muestran tanto las actividades realizadas en cada etapa, como sus tecnologías asociadas.



**Figura 2.** El sistema comprende cuatro etapas: Detección del peligro, Evaluación del riesgo, Alerta oportuna y Soporte al usuario, y Retroalimentación.

El sistema basa su operatividad en un modelo computacional de la interacción combinada entre usuarios, agentes artificiales y otros sistemas, donde la interoperabilidad e integración de sistemas juegan un papel transversal dentro del mismo. Sin embargo, el propósito clave de esta propuesta es el apoyo a los usuarios finales, por lo tanto, la interfaz cobra una dimensión crucial en su funcionamiento.

## 7. Metas (expresadas en productos de investigación)

Se prevé que el proyecto genere durante el tiempo designado para su desarrollo diversos tipos de resultados:

- Prototipos y modelos teóricos-prácticos.
- Publicaciones científicas de los resultados (parciales y finales) en congresos nacionales e internacionales, revistas indizadas, revistas y medios de divulgación científica y tecnológica.
- Formación de recursos humanos mediante: a) la dirección de proyectos terminales y

tesis de licenciatura y maestría, y b) la presentación de los resultados en eventos especializados y de divulgación.

## 7.1 Generación de conocimientos

El desarrollo de este proyecto ayudará a la generación de diversos conocimientos vía la generación de modelos, estrategias, sistemas y prototipos útiles para la comprensión de los fenómenos mismos y de su tratamiento computacional:

- Modelos matemático-estadísticos y estrategias de operación y aprendizaje automático.
  - Modelo para la determinación de la amenaza, el riesgo y la vulnerabilidad personal y colectiva de personas ante un desastre.
  - Modelo de valoración del riesgo post evento personal y colectivo de usuarios humanos.
  - Caracterización de distintos eventos de desastre natural o antrópico para el diseño de agentes artificiales.
- Algoritmos y Protocolos:
  - De coordinación entre agentes y otros dispositivos.
  - De confirmación colectiva del riesgo.
  - De recomendación de acciones antes, durante y después de un desastre.

## 7.2 Solución de problemas

Las soluciones se afinarán a través de un proceso de diseño iterativo en el que se evaluará al sistema (UOAE) para obtener retroalimentación durante el proceso de diseño sobre la eficiencia de uso, claridad de la información, confiabilidad de los datos y respuesta oportuna. Se realizará una evaluación global para determinar el nivel de desarrollo que alcanzó el proyecto. Por lo que en este proyecto se plantea abordar y dar respuesta a los problemas siguientes:

- Explorar el desarrollo de una metodología interdisciplinar para el diseño de sistemas interactivos, que vincule las aportaciones de disciplinas como la ergonomía, el diseño y los sistemas multi-agente, y unifique los términos y enfoques.
- Delimitar el universo de usuarios del sistema completo en el dominio de la gestión de desastres relevantes para la implementación de un sistema como el que se propone.
- Operacionalizar las nociones de la amenaza, el riesgo y la vulnerabilidad personal y colectiva de personas ante un desastre, para su uso en sistemas de cómputo, principalmente como estrategias de comportamiento en agentes artificiales.

## 7.3 Publicaciones

### 7.3.1 Congresos

En congresos y eventos especializados nacionales e internacionales, como los siguientes: *International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, *International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, *International Conference on Intelligent Systems and Agents*, *Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial (COMIA)*, *Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI)*, *Congreso Internacional de Ciencias*

de la Computación, *International Conference on Intelligent Environments (IE)*, *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, *ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing*, *IEEE Smart World Congress*, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, *SIGAI International Conference on Artificial Intelligence*, *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality*, *IEEE World Congress on Computational Intelligence*, *International Ergonomics Conference*, *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* o el *Congreso Latinoamericano de Ergonomía*.

#### 7.3.2 Revistas indizadas

En revistas indizadas y arbitradas de prestigio en las distintas áreas de competencia: *Journal Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (JCR-Springer)*, *Journal Expert Systems with Applications (JCR-Elsevier)*, *Journal Research in Computing Science (Latindex)*, *International Journal of Human-Computer Studies (Elsevier)*, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (Springer)*, *Journal of Universal Computer Science*, *Frontiers in Computer Science*.

#### 7.3.3 Divulgación

En revistas de divulgación de la ciencia y la tecnología: *Komputer Sapiens (SMIA)*, *La Ciencia y El Hombre (UV)*, *¿Cómo ves? (UNAM)*, *ITNOW (BCS)*, *E&T Magazine (IET)*, *Spectrum (IEEE)*, *Computer (IEEE)*, *Interactions (ACM)*. *Publicación de un artículo en el área de Diseño y Ergonomía*.

### 7.4 Prototipos

El desarrollo de un SSATR basado en un Sistema Multi-Agente generará:

- Laboratorio virtual y físico de agentes heterogéneos y dispositivos para DCH.
- Distintas versiones funcionales que implementen diversas estrategias, de diferentes alcances y escalas.
- Desarrollo de agentes artificiales (software), embebidos (hardware) y prendables/vestibles, y otros dispositivos asociados al sistema.
- Desarrollo de interfaces para retroalimentación a los usuarios y apoyo a la toma de decisiones.

## 8. Cronograma de actividades

### 8.1 Descripción de actividades por etapas o por año

El desarrollo de este proyecto se prevé que tenga una duración de tres años. A continuación, se exponen las actividades previstas en cada año.

#### 1er año

- Estudio de los protocolos de seguridad recomendados por las autoridades en el caso de distintos desastres, que contemple los momentos previos, durante y posterior al evento.
- Diseño de las estrategias de integración de sistemas para obtener la información oficial de las distintas fuentes oficiales de datos.

- Caracterización de distintos eventos de desastre natural o antrópico para el diseño de agentes artificiales.
- Desarrollo de un modelo para la determinación de la amenaza, el riesgo y la vulnerabilidad personal y colectiva de personas ante un desastre.
- Estudio de las publicaciones científicas sobre SSATR y Sistemas Multi-Agente orientados al dominio de la gestión de desastres y rescate.
- Determinación de requerimientos y documentación sobre el dominio de gestión de desastres.
- Definir requerimientos para delimitar el sistema (UOAE).
- Indagación sobre los datos para la definición de los tipos de usuario, las actividades a realizar y las características de los productos.
- Especificación y diseño del sistema y sus componentes. Desarrollo de diagramas arquitectónicos (UML, entre otros).
- Documentación del sistema (esta actividad se llevará a cabo durante toda la duración del proyecto)

## 2o año

- Determinar los tipos de desastres naturales a operacionalizar en el sistema.
- Desarrollo de un modelo de valoración del riesgo post evento personal y colectivo de usuarios humanos.
- Estudio y diseño de técnicas de aprendizaje automático para ser utilizadas en la operación de los agentes.
- Implementación de estrategias de operación en los distintos agentes.
- Desarrollo de un modelo de confirmación colectiva del riesgo.
- Desarrollo de estrategias y protocolos de intercomunicación entre el sistema y las autoridades encargadas de la gestión de riesgos y rescate.
- Implementación de al menos una versión nueva del  $SMA_{SSATR}$  con un conjunto mayor de agentes operando con estrategias y funcionalidades añadidas.
- Realización de evaluaciones de retroalimentación para el diseño (uso de prototipos de baja fidelidad).

## 3er año

- Desarrollo de estrategias y protocolos de recomendación de acciones antes, durante y después de un desastre para los usuarios individuales.
- Continuar con el diseño e Implementación de los avisos de alerta y la información de soporte a la toma de decisiones para usuarios finales.
- Mejora incremental y puesta a punto del  $SMA_{SSATR}$  con el conjunto completo de agentes operando con una gama cada vez más completa de estrategias y funcionalidades.
- Evaluación y comparación de las distintas estrategias propuestas.
- Evaluar el desempeño de los agentes individualmente, por tipo y funcionalidades.
- Evaluar el desempeño del  $SMA_{SSATR}$  como un todo funcional.

## 9. Requerimientos y presupuesto

A partir de la propuesta presentada en este proyecto de investigación, se considera el siguiente presupuesto aproximado por año.

### 9.1 Resumen financiero (global y por etapas)

Este proyecto requerirá de un presupuesto global sujeto a las fluctuaciones de los precios de equipo y materiales de **\$257,578.88**, distribuido por etapas como me muestra en la tabla siguiente:

1 <sup>er</sup> Año	
Creación de un laboratorio físico y virtual para la implementación de los diseños y prototipos de agentes y las interfaces DCH.	\$10,000
Desarrollo de un sitio web y puesta a punto de herramientas virtuales de colaboración (repositorio de versiones de código, herramientas de colaboración, infraestructura para implementación de prototipos, e.g. Servidores en la nube, IPs públicas).	\$15,000
DRONE CODRONE PRO PROGRAMABLE Y EDUCATIVO	\$5,300
ARDUINO MEGA 2560 REV3	\$1,750
PLACA DE ARDUINO BLUNO BEETLE BLE DFROBOT ARDUINO LILYPAD + BLUETOOTH 4.0 BLE	\$590
2-ARDUINO SENSORES DE CALIDAD DEL AIRE	\$1,600
2-ARDUINO SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	\$2,308
2-GEEKFACTORY SESORES DE GAS NATURAL Y LP	\$1,020
Subtotal	\$37,568
Subtotal con impuestos	\$43,578.88
Inscripción a congreso internacional especializado, donde se presentará un artículo de investigación. Posibles congresos: International Conference on Agents and Artificial Intelligence, o la International Conference on Intelligent Systems and Agents.	\$15,000
Inscripción a congreso nacional especializado, en el cual se presentará un artículo de investigación. Posibles congresos: Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial (COMIA), Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICA), Congreso Internacional de Ciencias de la Computación.	\$5,000
Becas para estudiantes que participarán en la creación del laboratorio de agentes y el desarrollo del proyecto: 1 – Beca de ayudante de investigación de hasta \$24,000 (12 meses) 1 – Beca para Proyecto Terminal (3 trimestres) de hasta \$15,000	\$49,000



1 – Servicio social de hasta \$10,000 (6 meses)	
Subtotal	\$112,578.88
2º Año	
Inscripción a congreso internacional especializado, donde se presentará un artículo de investigación. Posibles congresos: International Conference on Agents and Artificial Intelligence, o la International Conference on Intelligent Systems and Agents.	\$15,000
Inscripción a congreso nacional especializado, en el cual se presentará un artículo de investigación. Posibles congresos: Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial (COMIA), Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICA), Congreso Internacional de Ciencias de la Computación.	\$5,000
Becas para estudiantes que participarán en la creación del laboratorio de agentes y el desarrollo del proyecto: 1 – Beca de ayudante de investigación de hasta \$24,000 (12 meses) 1 – Beca para Proyecto Terminal (3 trimestres) de hasta \$15,000 1 – Servicio social de hasta \$9,000 (6 meses)	\$48,000
Equipo para el laboratorio 2 - teléfonos móvil Android (habilitado para AR-CORE) para pruebas con usuario. 2 - Dispositivo prendible/vestible – Reloj inteligente Android.	\$8,000 \$1,000
Subtotal	\$77,000
3er Año	
Inscripción a congreso internacional especializado, donde se presentará un artículo de investigación. Posibles congresos: International Conference on Agents and Artificial Intelligence, o la International Conference on Intelligent Systems and Agents.	\$15,000
Inscripción a congreso nacional especializado, en el cual se presentará un artículo de investigación. Posibles congresos: Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial (COMIA), Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICA), Congreso Internacional de Ciencias de la Computación.	\$5,000
Becas para estudiantes que participarán en la creación del laboratorio de agentes y el desarrollo del proyecto: 1 – Beca de ayudante de investigación de hasta \$24,000 (12 meses) 1 – Beca para Proyecto Terminal (3 trimestres) de hasta \$15,000 1 – Servicio social de hasta \$9,000 (6 meses)	\$48,000
Subtotal	\$68,000
<b>Total</b>	<b>\$257,578.88</b>

## Requerimientos

Espacio físico para alojar el laboratorio y muebles de servicio de al menos 2 x 3 mts.	Espacio gestionado ante la UAM-C
Proyecto de servicio social	Se someterá a aprobación del Consejo Divisional de DCCD

## 9.2 Opciones adicionales de financiamiento

Se planea someter este proyecto para obtener aprobación y financiamiento de instituciones nacionales, tales como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT); el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP); o la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. También se evaluará la posibilidad de obtener colaboración internacional y financiamiento con el British Council a través del Newton Fund (UK).

# 10. Impacto de la Propuesta en los Planes y Programas Educativos de la Universidad

El proyecto de investigación aquí presentado se vincula de directamente con varias de las UEA que se imparten en la Licenciatura en Tecnologías y Sistemas de Información, en la Licenciatura en Ingeniería en Computación, y en la Licenciatura en Diseño, de la UAM Cuajimalpa. Específicamente está vinculado con UEAs (se agrupan por relación temática):

- Programación Estructurada, Programación Orientada a Objetos, Estructuras de Datos, Bases de Datos, Bases de Datos Avanzadas y Análisis y Diseño de Algoritmos
- Programación de Web Estático y Programación de Web Dinámico, Sistemas Distribuidos, Integración de Sistemas
- Inteligencia Artificial I y II, Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales, Lógica y Programación Lógica, y Seminario de Sistemas Inteligentes I y II
- Computación Inalámbrica y Móvil, Interacción Humano-Computadora
- Laboratorios Temáticos I, II, III, y IV, Seminario de Sistemas de Información I y II, y Seminario de Tecnologías de la Información I y II, y Laboratorios Interactivos.
- Proyectos Terminales I, II, y III

Adicionalmente, desde la perspectiva interdisciplinaria, algunas UEA de la Maestría en Diseño, Información y Comunicación podrían ser impactadas por el proyecto, particularmente para el desarrollo de los proyectos terminales interdisciplinarios, que finalmente serán convertidos en Idóneas Comunicaciones de Resultados, elemento crucial para la titulación de los maestrantes.

En todos los casos, este proyecto puede plantear subproyectos y problemáticas de estudio a través de los cuales los alumnos desarrollen estrategias y algoritmos, realicen implementaciones derivadas de los Sistemas Multi-Agente y Diseño Centrado en el Humano, De manera particular, los Proyectos Terminales pueden beneficiarse del proyecto al abordar temas para ser desarrollados de manera individual por los alumnos de las Licenciaturas en Tecnologías y Sistemas de Información y Diseño; y como ya se dijo, de la Maestría en Diseño, Información y Comunicación.

## 11. Impacto de la Propuesta en las Líneas Emblemáticas de la UAM-C

### 11.1 Sustentabilidad

Las tecnologías de la información y la comunicación, aunado a las tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y las interfaces humano-computadora, permiten reducir costos, tiempos de producción y distribución de bienes, servicios y sobre todo, de información. Ésta última es la materia prima de una gran diversidad de sistemas que atraviesan casi todos los sectores (sociales, económicos, políticos y culturales). Este proyecto aspira a incorporar estos beneficios a la gestión de los desastres naturales o por intervención humana, desde distintos aspectos, por ejemplo: la reducción en el impacto ambiental vía la eliminación de archivos y mecanismos físicos por sus versiones electrónicos. La comunicación, relativamente instantánea y de bajo costo, permite que se ahorren tiempos en transporte y espacio, una mejor coordinación entre los actores implicados y facilita la retroalimentación para la toma de decisiones post evento, aplicables a futuras instancias de estos. De esta forma, las virtudes de este ahorro se reflejarían precisamente en la minimización de los costos de la gestión y salvaguardar la integridad física de personas e instalaciones.

### 11.2 Cambio tecnológico

El proyecto que aquí se presenta impacta sobre todo en esta línea emblemática, pues pugna por el uso de un paradigma de avanzada en el desarrollo de sistemas, en conjunto con la mirada humana que ofrecen el enfoque centrado en el ser humano.

Las tecnologías de la investigación y la comunicación crecen de manera vertiginosa en variadas direcciones. Una de ellas, que destaca por representar una de las mayores innovaciones en ingeniería de software y como elemento integrador de las disciplinas de la inteligencia artificial, es el paradigma de Sistemas Multi-Agente. Esto se debe a las herramientas de abstracción que proporcionan para realizar análisis, diseño, implementación y simulación de sistemas; que proporcionan una alta flexibilidad y adaptación derivada capacidad de aprendizaje; y su alta modularidad y robustez como herramienta de modelización y desarrollo.

De igual manera, el computo ubicuo y el internet de las cosas, mediante la captura de datos y

orquestración de respuestas en tiempo semi real, permiten un cambio en sistemas basados en datos históricos a sistemas de respuesta inmediata, proporcionando información oportuna, así como orquestrando los diferentes actores en los sistemas de alerta temprana.

Finalmente, las tecnologías inmersivas representan un cambio de paradigma, mediante la creación de interfaces naturales que puedan ser embebidas en el ambiente, proporcionando información al usuario considerando tanto su situación personal, como el contexto en el que se desarrolla la actividad. Particularmente, al habilitar colaboración a distancia, son herramientas ideales para situaciones de emergencia. Durante la pandemia COVID, la necesidad de este tipo de herramientas ha generado un creciente interés en estas tecnologías. Esto combinado con las metodologías de diseño centrado en el usuario, cuyo proceso iterativo y dirigido por las necesidades del mismo, permite proporcionar apoyo a la toma de decisiones en momentos de crisis.

### 11.3 Calidad de vida

La mayor tecnificación e informatización de distintos aspectos transforma necesariamente la calidad de vida de la población en sus distintas posiciones. Respecto de las consecuencias de los desastres, es evidente que ha habido modificaciones a partir de los estragos ocasionados en los distintos países y sus demarcaciones. Es por esto que este proyecto impacta fuertemente en esta línea emblemática también porque aplicar tecnología avanzada a la prevención y gestión de los desastres, modificaría no sólo la forma en que los cuerpos de rescate y autoridades responden ante tales eventos (de forma más organizada y eficiente); sino porque un mecanismo de prevención personalizada, imbuido dentro de un sistema diseñado tomando como centro al ser humano, nos daría la posibilidad de reaccionar de mejor manera ante eventos nocivos tanto personal como colectivamente, aumentando las posibilidades de salvaguardar a la población, otorgando herramientas para la toma de decisiones en situaciones de emergencia.

## 12. Vinculación

Como se especificó en el apartado 1.2, el presente proyecto incorpora a investigadores de otras instituciones, tanto nacionales, como internacionales, lo que permite ampliar las redes académicas en las áreas disciplinarias que intervienen en el proyecto hacia el interior de sus respectivas instituciones: la Universidad Veracruzana y la Universidad de Essex. Además este proyecto establece lazos con la industria por medio de los laboratorios de investigación de BT. Estas interacciones incluyen la presentación de resultados en conferencias y charlas que podrían ser virtuales o presenciales dependiendo de las condiciones sanitarias que la pandemia originada por el COVID-19 establezca.

## 13. Bibliografía

- [1] Secretariat of the United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), "Global Survey of Early Warning Systems: An assessment of capacities, gaps and opportunities towards building a comprehensive global early warning system for all natural hazards," United Nations , 2006.
- [2] E. Renda, M. R. Garay, O. Moscardini and N. P. Torchia, "Manual para la elaboración de mapas de riesgo," Ministerio de Seguridad de la Nación, Buenos Aires, Argentina, 2017.
- [3] N. M. Adams, M. Field, D. J. Hand, N. R. Jennings, D. S. Leslie, D. Nicholson, S. D. Ramchurn, S. J. Roberts and A. Rogers, "The ALADDIN project: intelligent agents for disaster management," in *International Workshop on Robotics for Risky Interventions and Surveillance of the Environment. International Advanced Robotics Programme, IARP/EURON Workshop on Robotics for Risky Interventions and Environmental Surveillance (RISE)*, Benicassim, Spain, 2008.
- [4] V. E. Asming, S. V. Baranov, Y. A. Vinogradov and A. I. Voronin , "Seismic and infrasonic monitoring on the Spitsbergen archipelago," *Seismic Instruments*, vol. 49, no. 3, pp. 209-218, 2013.
- [5] J. M. Espinosa-Aranda, A. Cuéllar, G. Ibarrola, R. Islas and A. García, "The Seismic Alert System of Mexico (SASMEX) and their Alert Signals broadcast results," in *World Conference on Earthquake Engineering*, Lisboa, Portugal, 2012.
- [6] A. Cuéllar, J. M. Espinosa-Aranda, R. Suárez, G. Ibarrola, A. Uribe, F. H. Rodríguez, R. Islas, G. M. Rodríguez, A. García and B. Frontana, "The Mexican Seismic Alert System (SASMEX): Its Alert Signals, Broadcast Results and Performance During the M 7.4 Punta Maldonado Earthquake of March 20th, 2012," in *Early Warning for Geological Disasters*, F. Wenzel and J. Zschau, Eds., Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 71-87.
- [7] A. Mas, *Agentes software y sistemas multi-agente*, F. Garijo, Ed., Prentice Hall, 2004.
- [8] A. Bonfiglio, N. Carbonaro, C. Chuzel, D. Curone, G. Dudnik, F. Germagnoll, D. Hatherall, J. M. Koller, T. Lanier, G. Loriga, J. Luprano, G. Magenes, R. Paradiso, A. Tognetti and V, "Managing Catastrophic Events by Wearable Mobile Systems," in *Mobile Response, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4458, J. Löffler and M. Klann, Eds., Berlin, Heidelberg, Springer, 2007, pp. 95-105.
- [9] International Organization for Standardization, "ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts," International Organization for Standardization, 2018.
- [10] Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, "Guía para la elaboración de planes de respuesta a desastres y de contingencia," Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2008.
- [11] K. M. Khalil, M. Abdel-Aziz, T. T. Nazmy and A.-B. M. Salem, "Multi-Agent Crisis Response systems - Design Requirements and Analysis of Current Systems," in *Fourth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems*, Cairo, Egypt , 2009.

- [12] Y. Qing, M. Huimin and Y. Yanling, "Multi-Agent Risk Identifier Model of Emergency Management System Engineering Based on Immunology\*," *Systems Engineering Procedia*, vol. 4, pp. 385-392, 2012.
- [13] V. Balasubramanian, D. Massaguer, S. Mehrotra and N. Venkatasubramanian, "DrillSim: A Simulation Framework for Emergency Response Drills," in *Intelligence and Security Informatics. ISI 2006. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3975, S. Mehrotra, D. D. Zeng, H. Chen, B. Thuraisingham and F. Y. Wang, Eds., Berlin, Heidelberg, Springer, 2006, pp. V237-248.
- [14] J. Marecki, N. Schurr and M. Tambe, "Agent-Based Simulations for Disaster Rescue Using the DEFACTO Coordination System," in *Emergent Information Technologies and Enabling Policies for Counter-Terrorism*, R. L. Popp and J. Yen, Eds., Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2005.
- [15] A. Kleiner, B. Steder, C. Dornhege, D. Höfer, D. Meyer-Delius, J. Prediger, J. Stückler, K. Glogowski, M. Thurner, M. Lubert, M. Schnell, R. Kuemmerle, T. Burk, T. Bräuer and B. Nebel, "RoboCupRescue - Robot League Team RescueRobots Freiburg (Germany)," in *RoboCup 2005 (CDROM Proceedings), Team Description Paper, Rescue Robot League*, 2005.
- [16] D. Berry, A. Usmani, J. L. Torero, A. Tate, S. McLaughlin, S. Potter, A. Trew, R. Baxter, M. Bull and M. Atkinson, "FireGrid: Integrated emergency response and fire safety engineering for the future built environment," in *Workshop on Ubiquitous Computing and e-Research*, National eScience Centre, Edinburgh, UK, 2005.
- [17] ISO/IEC JTC 1/SC 7, "ISO/IEC TR 25060:2010 — Common Industry Format (CIF) for usability: General framework for usability-related information," International Organization for Standardization, 2010.
- [18] A. S. Rao and M. G. P., "BDI Agents: From Theory to Practice," in *Proceedings of the First International Conference on Multiagent System (ICMAS-95)*, 1995.
- [19] S. Russell and P. Norvig, *Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno*, Segunda ed., Pearson Prentice Hall, 2003.
- [20] M. Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2009.
- [21] M. Fasli, *Agent Technology for E-Commerce*, John Wiley & Sons Inc , 2007.
- [22] S. F. Railsback and V. Grimm, *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*, Second ed., Princeton University Press, 2019.
- [23] T. Balke and N. Gilbert, "How Do Agents Make Decisions? A Survey," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 17, no. 4, pp. 1-13, 2014.
- [24] L. Padgham and M. Winikoff, *Developing Intelligent Agent Systems: A Practical Guide*, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.