

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



**Modelado de la Percepción de Accesibilidad y las
Preferencias de Locomoción, de Personas con
Discapacidad, mediante Agentes BDI con Percepciones
Difusas**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

Presenta:

DONALD JOSÉ RODRÍGUEZ ÚBEDA

Directora:

Codirector:

DRA. DORA LUZ FLORES GUTIÉRREZ

DR. LUIS ENRIQUE PALAFOX MAESTRE

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

ENERO DE 2015

A mi familia

Universidad Autónoma de Baja California
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FOLIO No. 133

Tijuana, B. C., a 01 de diciembre de 2014

C. Donald José Rodríguez Úbeda
Pasante de: Doctor en Ciencias
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción TESIS

Es propuesto, por los CC. Dres. Dora Luz Flores Gutiérrez y Luis Enrique
Palafox Maestre

Quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente,
referido al tema: Modelado de la Percepción de Accesibilidad y las Preferencias de
Locomoción, de Personas con discapacidad, mediante Agentes BDI con Percepciones
Difusas.

el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- MARCO TEORICO
- III.- SIMULACION BASADA EN AGENTES
- IV.- CASOS DE ESTUDIO
- V.- CONCLUSIONES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA

Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez
Directora de Tesis

Dr. Juan Ramón Castro Rodríguez
Secretario

Dr. Luis Enrique Palafox Maestre
Co-Director

Dr. Luis Enrique Palafox Maestre
Director

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin el invaluable apoyo que he recibido de mi familia, profesores, amigos e instituciones.

Quiero agradecer a mi directora de tesis la Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez y a mi co-director el Dr. Luis Enrique Palafox Maestre, quienes siempre estuvieron dispuestos para aconsejarme y enriquecer mi trabajo con sus acertados comentarios. A los doctores Juan Ramón Castro Rodríguez, Manuel Castañón Puga y Carelia Gaxiola Pacheco, integrantes del comité de tesis, mi reconocimiento y gratitud, porque han sido más que una guía en mis estudios, de todos ustedes no sólo me llevo los invaluable conocimientos que compartieron con mi persona, sino su ejemplo de esfuerzo, dedicación y compromiso con la investigación científica.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California y a CONACYT, que me dieron la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y me brindaron los recursos para que pudiera dedicarme a la investigación científica. También agradezco a la Universidad de Sonora que me permitió contribuir en la formación de nuevos profesionistas; y me dio su apoyo para que realizara mi sueño de estudiar el doctorado.

A mi amigo y compañero el Dr. Ricardo Rosales Cisneros, te quiero agradecer por tu invaluable apoyo en todos estos años.

Donald José Rodríguez Úbeda

Resumen

En el modelado de locomoción humana y comportamiento peatonal, existe la necesidad de algún modelo que represente y describa con detalle las preferencias de locomoción que exhiben las personas con discapacidad al desplazarse por una ruta seleccionada; considerando la influencia de sus capacidades físicas y percepciones de accesibilidad. No hay modelos ni simuladores que permitan estudiar y reproducir el fenómeno. Se presenta una propuesta basada en agentes BDI con percepciones difusas; en la que las percepciones de accesibilidad y las capacidades de las personas con discapacidad, que son imprecisas por naturaleza, se toman en cuenta para modelar sus preferencias de locomoción.

Abstract

In the modeling of human locomotion and pedestrian behavior, there is a need for some model to represent and describe in detail the locomotion preferences exhibited by people with disabilities as they move along a chosen path; by considering the influence of their physical abilities and perceptions of accessibility. There are no models or simulators which allow to study and reproduce the phenomena. A proposal based on BDI agents with fuzzy perceptions is presented; where perceptions of accessibility and capabilities of people with disabilities, which are imprecise by nature, are taken into account to model the preferences of locomotion.

Índice general

1. Introducción	II
1.1. Antecedentes	II
1.1.1. Marco contextual	II
1.1.2. Justificación	VII
1.2. Descripción de la investigación	XIV
1.3. Objetivos	XIV
1.3.1. Objetivo general	XIV
1.3.2. Objetivos específicos	XV
1.4. Metodología	XV
1.5. Organización del documento	XVII
2. Marco teórico	1
2.1. Discapacidad, funcionalidad y accesibilidad	2
2.1.1. Discapacidad	2
2.1.2. Clasificación de la discapacidad	3

2.1.3. Accesibilidad	6
2.2. Agentes autónomos inteligentes	10
2.2.1. Características de los agentes autónomos	12
2.2.2. Sistemas multi-agente	16
2.2.3. Agente de software	17
2.3. Arquitectura de agentes	18
2.3.1. Arquitectura SOAR	18
2.3.2. Arquitectura ACT-R	20
2.3.3. Arquitectura BDI	23
2.4. Sistema de inferencia de lógica difusa	29
2.5. Trabajos relacionados	31
3. Simulación basada en agentes	36
3.1. Modelo de agente BDI	36
3.2. Modelo de agente BDI con percepciones difusas	38
3.2.1. Definición de percepciones difusas en un agente BDI	40
3.2.2. Metodología para la construcción de creencias	41
3.3. Arquitectura general del simulador	43
3.3.1. ¿Por qué BDI?	46
3.3.2. Arquitectura de agente BDI individuo	47
4. Casos de estudio	52

4.1. Caso 1: Agente regulador de temperatura del agua	52
4.1.1. Descripción del caso	53
4.1.2. Resultados	55
4.2. Caso 2: Simulación de la percepción y preferencias de accesibilidad	61
4.2.1. Descripción del caso	61
4.2.2. Modelado	67
4.2.3. Resultados	71
4.3. Análisis de Resultados	73
5. Conclusiones	75
5.1. Conclusiones	75
5.2. Trabajo futuro	77
Apéndices	84
A. Anexos de la tesis	85
A.1. Instalaciones accesibles en espacios abiertos	85
A.2. Instalaciones accesibles en espacios cerrados	94
A.3. Elementos arquitectónicos y urbanos	95
A.3.1. Elementos	95
A.3.2. Accesorios	105
A.3.3. Mobiliario	106

ÍNDICE GENERAL	10
----------------	----

B. Cuestionarios	111
------------------	-----

Índice de figuras

1.1. Prevalencia de la discapacidad en América Latina (PRONADIS 2009-2012), según fuente de información y año	IX
1.2. Prevalencia de la discapacidad en México en el 2003 (PRONADIS 2009-2012)	x
1.3. Distribución de la población con discapacidad, por tipo y sexo, en México en el 2003 (PRONADIS 2009-2012)	XII
1.4. Distribución de la Población con Discapacidad, por grupos de edad y tipo de discapacidad, en México en el 2003 (PRONADIS 2009-2012)	XIII
1.5. La simulación como método de investigación [4]	XVII
2.1. Agente autónomo interactuando con el ambiente	11
2.2. Sistema Multi-agente	16
2.3. Diagrama de Flujo del Intérprete BDI	30
3.1. Modelo de Construcción de Creencias.	42
3.2. Modelo de la Arquitectura General del Simulador	46
3.3. Modelo de la arquitectura del agente individuo	48

4.1. Base de conocimientos para el agente. Indicando los valores lingüísticos correspondientes para una escala de temperatura en grados Fahrenheit	54
4.2. Diagrama de secuencia para el agente	55
4.3. Mind Inspector de Jason mostrando la intención del agente	56
4.4. Mind Inspector de Jason mostrando la creencia del agente	57
4.5. Mind Inspector de Jason mostrando la nueva intención del agente	58
4.6. Mind Inspector de Jason mostrando la intención “wait” del agente	58
4.7. Mind Inspector de Jason mostrando la creencia del agente	59
4.8. Captura de la consola de Jason mostrando la salida del agente	60
4.9. Modelo ubicuo de evaluación de accesibilidad	64
4.10. Modelo de recolección de datos para la evaluación de percepción de accesibilidad y preferencias de desplazamiento	65
4.11. Figura mostrando la unidad de clasificación d450 dentro de la CIF	66
4.12. Evaluación de percepción de accesibilidad y preferencias de desplazamiento de la entrada al museo	68
4.13. Evaluación de percepción de accesibilidad y preferencias de desplazamiento de las rutas para acceder a pisos superiores	68
4.14. Modelo de inferencia difuso para las preferencias de locomoción	69
4.15. Funciones de membresía para los calificadores de la capacidad de andar . . .	70
4.16. Funciones de membresía para la percepción de accesibilidad de rampa y escalones	70
4.17. Funciones de membresía para las preferencias de locomoción	71

B.1. Preguntas sobre preferencias de locomoción	112
B.2. Preguntas sobre accesibilidad	113
B.3. Preguntas sobre accesibilidad aplicadas a grupo de control	114

Índice de tablas

2.1. Descripción de los vocablos asociados a los calificadores [3]	6
4.1. Descripción de las creencias, deseos e intenciones del agente	54
4.2. Personas entrevistadas y sus calificadores asociados [3]	67
4.3. Respuestas de segunda entrevista y el resultado del modelo	72

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

En la actualidad la sociedad se esfuerza para integrar más a las personas con capacidades diferentes, por lo cual se tratan de adecuar distintos equipos e instalaciones físicas con el objetivo de facilitarles su traslado, brindarles las comodidades necesarias para que tengan una mejor calidad de vida y en la medida de lo posible tengan un poco más de independencia.

1.1.1. Marco contextual

En el caso de lugares públicos como escuelas, terminales aéreas, parques y oficinas de gobierno, entre otros, se ha hecho un esfuerzo por adecuarlos. Sin embargo, falta mucho por hacer, pues a pesar de las adecuaciones necesarias, las personas con capacidades diferentes requieren de elementos que les ayuden a descubrir esas instalaciones para que puedan usarlas en su beneficio, pues en la mayoría de los casos las señalizaciones solo son visuales y están ubicadas justo en el lugar donde se encuentran las mismas.

De acuerdo con [1], en México se reconoce que las personas con discapacidad siguen siendo uno de los grupos en situación de vulnerabilidad más marginados de la sociedad y que son víctimas de la discriminación en varios aspectos, entre ellos la participación en la vida política y pública, la educación, el empleo y la libertad para trasladarse, entre otros.

Las personas con discapacidad constituyen la minoría más numerosa y más desfavorecida del mundo [2]. La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad señala que éste grupo de la población incluye a las personas que tienen deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, pueden impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con los demás.

Como se menciona en [2], la accesibilidad tiene vital importancia de acuerdo a lo establecido por la Comunidad Internacional, la cual por medio del Preámbulo de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD), menciona lo siguiente:

“Reconociendo la importancia de la accesibilidad al entorno físico, social, económico y cultural, a la salud y la educación y a la información y las comunicaciones, para que las personas con discapacidad puedan gozar plenamente de todos los derechos humanos y las libertades fundamentales”.

Asimismo, la accesibilidad se encuentra también prevista en el artículo noveno de la CDPD, que se localiza en la segunda sección del Tratado Internacional, sección que tiene por objeto ser de aplicación transversal en los demás derechos reconocidos por la CDPD [2].

El artículo mencionado establece lo siguiente:

“Estados Partes en la CDPD adoptarán medidas pertinentes para asegurar el acceso de las personas con discapacidad, en igualdad de condiciones que las

demás, al entorno físico, el transporte, la información y las comunicaciones, incluidos los sistemas y las tecnologías de la información y las comunicaciones, y a otros servicios e instalaciones abiertos al público o de uso público, tanto en zonas urbanas como rurales.”

El texto de dicho artículo continúa señalando que las medidas se aplicarán a los edificios, las vías públicas, el transporte y otras instalaciones exteriores e interiores como escuelas, viviendas, instalaciones médicas y lugares de trabajo, así como a los servicios de información, comunicaciones y de otro tipo, incluidos los servicios electrónicos y de emergencia. Por lo tanto, es el Estado el que debe poner el ejemplo, tanto en su calidad de empleador, como en su operación, al no excluir a nadie. La regla general debe ser la inclusión y la participación de todas las personas en la sociedad, para lo que será necesario un cambio en cada uno de sus miembros. Es por ello que según [2] el artículo 9 señala que los Estados Partes de la CDPD también adoptarán las medidas pertinentes para:

- a) Desarrollar, promulgar y supervisar la aplicación de normas mínimas y directrices sobre la accesibilidad de las instalaciones y los servicios abiertos al público o de uso público;
- b) Asegurar que las entidades privadas que proporcionan instalaciones y servicios abiertos al público o de uso público tengan en cuenta todos los aspectos de su accesibilidad para las personas con discapacidad;
- c) Ofrecer formación a todas las personas involucradas en los problemas de accesibilidad a que se enfrentan las personas con discapacidad;
- d) Dotar a los edificios y otras instalaciones abiertas al público de señalización en Braille y en formatos de fácil lectura y comprensión;
- e) Ofrecer formas de asistencia humana o animal e intermediarios, incluidos guías, lectores

e intérpretes profesionales de la lengua de señas, para facilitar el acceso a edificios y otras instalaciones abiertas al público;

- f) Promover otras formas adecuadas de asistencia y apoyo a las personas con discapacidad para asegurar su acceso a la información;
- g) Promover el acceso de las personas con discapacidad a los nuevos sistemas y tecnologías de la información y las comunicaciones, incluida Internet;
- h) Promover el diseño, el desarrollo, la producción y la distribución de sistemas y tecnologías de la información y las comunicaciones accesibles en una etapa temprana, a fin de que estos sistemas y tecnologías sean accesibles al menor costo.

México forma parte de la CDPD y de acuerdo a [2] se mencionan en la Ley General de las Personas con Discapacidad los siguientes artículos:

- Artículo 13. Las personas con discapacidad tienen derecho al libre desplazamiento en condiciones dignas y seguras en espacios públicos. Las dependencias de la Administración Pública Federal, Estatal y Municipal vigilarán el cumplimiento de las disposiciones que en materia de accesibilidad, desarrollo urbano y vivienda se establecen en la normatividad vigente. Los edificios públicos que sean construidos a partir del inicio de la vigencia de esta Ley, según el uso al que serán destinados, se adecuarán a las Normas Oficiales que expidan las autoridades competentes, para el aseguramiento de la accesibilidad a los mismos.
- Artículo 15. Para facilitar la accesibilidad, en la infraestructura básica, equipamiento urbano y espacios públicos se contemplarán entre otros, los siguientes lineamientos:

I Que sean de carácter universal y adaptado para todas las personas;

II Que cuenten con señalización e incluyan tecnologías para facilitar el acceso y desplazamiento, y que posibiliten a las personas el uso de ayudas técnicas, perros guía u otros apoyos, y

III Que la adecuación de las instalaciones públicas sea progresiva.

Adicionalmente en la Ley Federal para Prevenir y Eliminar la Discriminación se menciona:

- Artículo 9. Queda prohibida toda práctica discriminatoria que tenga por objeto impedir o anular el reconocimiento o ejercicio de los derechos y la igualdad real de oportunidades. A efecto de lo anterior, se consideran como conductas discriminatorias: Impedir el acceso a cualquier servicio público o institución privada que preste servicios al público, así como limitar el acceso y libre desplazamiento en los espacios públicos;

Accesibilidad en México

La Comisión Nacional de los Derechos Humanos ha elaborado una primera Muestra - Diagnóstico Nacional de Accesibilidad [2], como un esfuerzo para desarrollar un proceso de recolección de información objetiva y fidedigna sobre el estado de los inmuebles seleccionados de la Administración Pública Federal.

De los resultados de la muestra diagnóstico [2] se observa que: La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, y la Ley General de las Personas con Discapacidad prevén el derecho a la accesibilidad; sin embargo, ningún instrumento jurídico define la accesibilidad. Además, no obstante que existe reglamentación al respecto en artículos específicos de diferentes leyes y en normas técnicas sobre accesibilidad, dicha reglamentación no ha sido suficiente para que los inmuebles de la Administración Pública Federal sean construidos con diseños accesibles.

También de los resultados [2] se desprende que el mayor avance en la materia se ha

dado respecto a la accesibilidad física de los inmuebles, lo que demuestra que se continúa equiparando la accesibilidad para personas con discapacidad con la construcción de rampas para la accesibilidad de personas con discapacidad motriz, no previendo las necesidades de las personas que tienen otro tipo de discapacidad. Contradictoriamente se refleja en los resultados que la señalización es inexistente en el 100 % de los sitios evaluados en la muestra.

1.1.2. Justificación

Para estimar la magnitud de la población que sufre alguna discapacidad se han realizado censos y encuestas en varios países. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que actualmente el 10 % de la población del mundo, es decir, aproximadamente 650 millones de personas presentan algún tipo de discapacidad intelectual, física o sensorial. Si consideramos que también sus familiares son afectados por la discapacidad, el número de personas directamente involucradas asciende a alrededor de 2,000 millones, lo cual representa casi un tercio de la población mundial [1].

Las estimaciones de la OMS son apoyadas por el Banco Mundial, el cual estima que entre el 10 % y el 12 % de la población mundial tiene discapacidad y que en el 25 % de los hogares existe una persona con alguna discapacidad. Cabe mencionar que el número de personas con discapacidad va en aumento debido al crecimiento de la población, al incremento en la esperanza de vida y al proceso de envejecimiento que hoy en día enfrenta la población de muchos países.

El Banco Mundial estima que la prevalencia de discapacidad varía significativamente entre países y regiones del mundo y llega a ser hasta de 20 % en algunos países [1]. Esta variación es causada por diversos factores entre los que figuran los siguientes:

- Diferentes definiciones de discapacidad

- Diferentes metodologías de recolección de datos
- Variaciones en la calidad en el diseño de los estudios
- Diferentes estructuras de la población por grupos de edad.

Se dice que muchos países en desarrollo reportan índices muy bajos de discapacidad, debido al tipo de preguntas utilizadas en sus encuestas, pues tienden a captar únicamente la discapacidad más severa y subestiman la verdadera magnitud de la discapacidad entre la población. Sin embargo, las encuestas tienden a reportar mayores niveles de prevalencia de discapacidad, debido a que incorporan un mayor número de preguntas para explorar sobre el tema, especialmente en los casos en donde se ha incorporado el modelo de la CIF [3] (Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud).

Un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), reveló que en América Latina, la prevalencia de la discapacidad alcanza niveles superiores a 10 % en Brasil, Chile, Ecuador, Panamá y Nicaragua (Ver Figura 1.1) [1].

En México a pesar de que se ha intentado medir la prevalencia de la discapacidad desde hace varias décadas; actualmente se desconoce la verdadera dimensión y comportamiento histórico de este indicador, en parte a causa de que se han utilizado diferentes conceptos, clasificaciones y fuentes de información.

Además, no se ha evaluado el impacto de los programas y de las estrategias que se han implementado en el país, lo que dificulta el diseño y la orientación adecuada de políticas públicas de atención a personas con discapacidad.

En el XII Censo General de Población y Vivienda, realizado en el 2000, se incluyó el tema de discapacidad atendiendo las recomendaciones de las Naciones Unidas, por lo cual se definió a una persona con discapacidad como aquella con alguna discapacidad física o mental de manera permanente o por más de seis meses que le impedía desarrollar sus actividades dentro

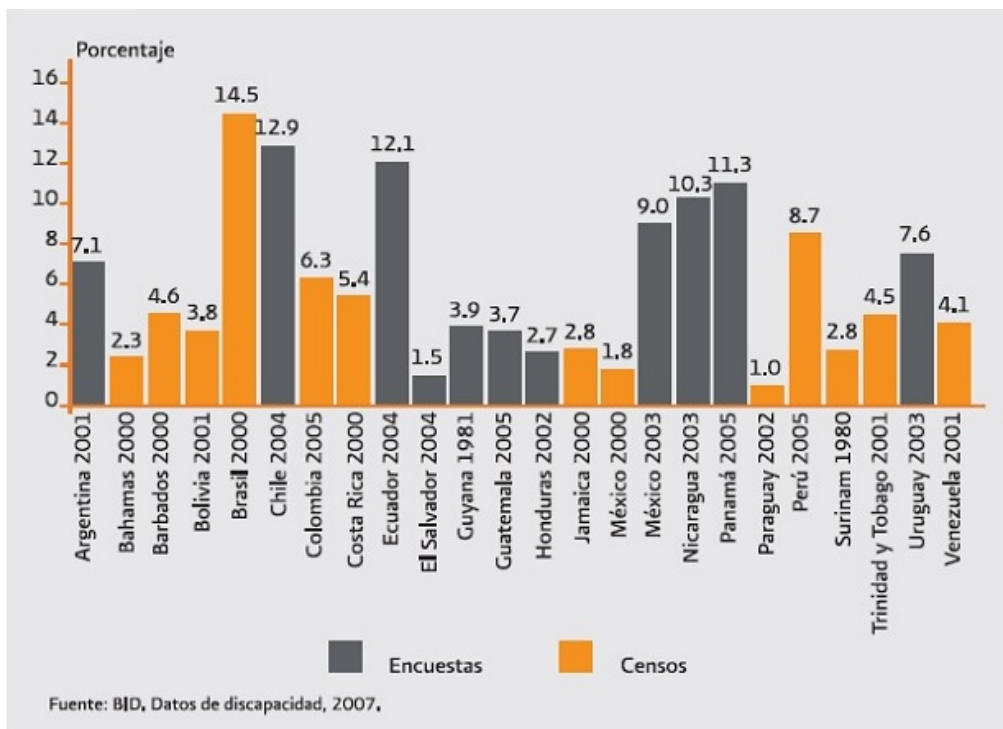


Figura 1.1: Prevalencia de la discapacidad en América Latina (PRONADIS 2009-2012), según fuente de información y año

del margen que se considera normal para un ser humano. De acuerdo con este instrumento, la prevalencia de discapacidad en México ascendió al 1.84 % de la población total del país en el año 2000.

También en el 2000 se aplicó una encuesta a una muestra de la población, en la que se utilizó un cuestionario para conocer la causa de la discapacidad, arrojando una estimación de 2.31 % de prevalencia de discapacidad en el país.

En la Encuesta Nacional de Evaluación del Desempeño (ENED), efectuada en el 2003 por la Secretaría de Salud, se realizó un primer ejercicio para estimar la prevalencia de discapacidad el país, con base en la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF). La medición se basó en el grado de dificultad en los dominios de salud: movilidad, función mental, estado de ánimo, actividades usuales, dolor y función social. Dicha Encuesta reportó la presencia de discapacidad en el 9 % de la población mexicana [1],

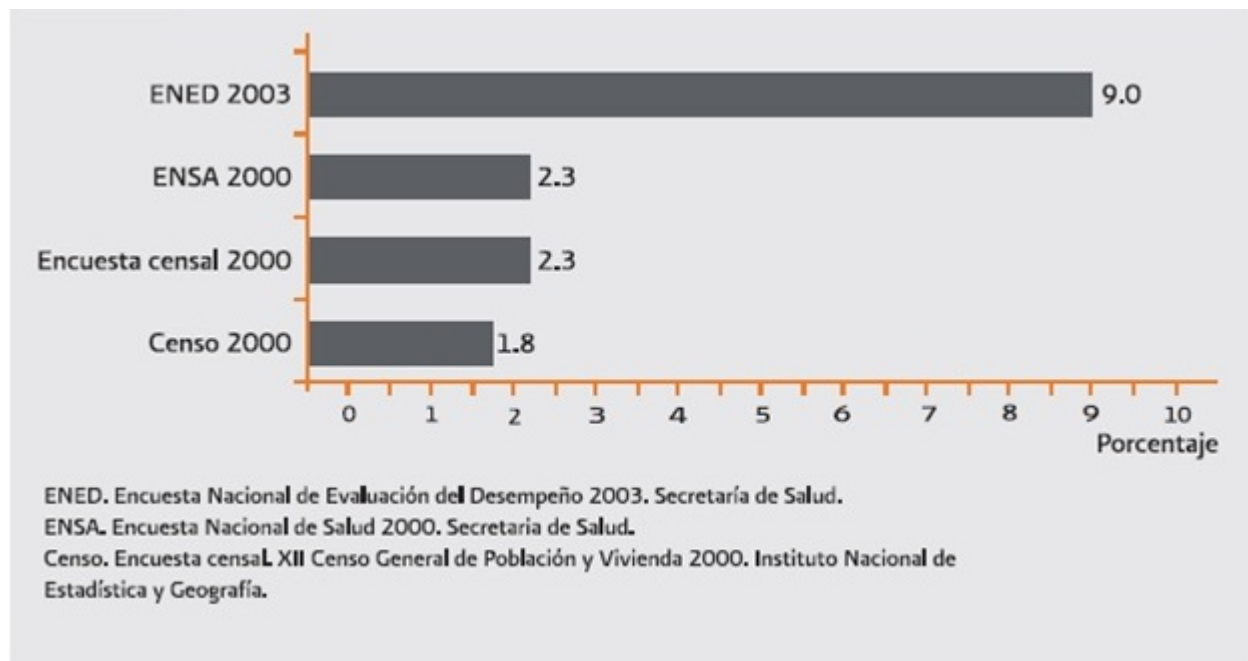


Figura 1.2: Prevalencia de la discapacidad en México en el 2003 (PRONADIS 2009-2012)

lo que representa un mejor acercamiento a la verdadera magnitud de la prevalencia de la discapacidad en nuestro país (Ver Figura 1.2).

En el mundo, la prevalencia de la discapacidad aumenta gradualmente conforme transcurre la edad, México no es la excepción y dicho incremento es más pronunciado a partir de los 40 años, y llega a tener un comportamiento exponencial a partir de los 60 años de edad, alcanzando un valor de 16.1 % en el grupo de 70 años y más.

Es evidente que la calidad de vida de las personas adultas mayores está altamente relacionada con su capacidad funcional y con el conjunto de condiciones que le permiten cuidarse a sí misma y participar en la vida familiar y social. Sin embargo, la OMS señala que en los países donde la esperanza de vida es superior a los 70 años de edad, la población vive con algún tipo de discapacidad aproximadamente ocho años; en otras palabras, en dichos países, en promedio 11.5 % de la vida de un individuo transcurre con alguna discapacidad, lo que demuestra la necesidad de establecer políticas públicas en todos los países para contribuir

a prolongar no sólo la cantidad de años que vive una persona, sino también a mejorar sus condiciones de salud a lo largo de toda la vida.

En México se estimó en el año 2003 que la esperanza de vida en condiciones de buena salud fue de 65.7 años en el caso de los hombres y de 67.6 años en el caso de las mujeres, mientras que la esperanza de vida total se estimó en aproximadamente 72 años para los hombres y en 77 para las mujeres, lo que indica que en promedio los hombres pueden vivir 9 % de su vida con alguna discapacidad y que el porcentaje aumenta a 12.2 % en el caso de las mujeres.

Si los datos obtenidos por el censo del 2000 se han mantenido constantes, se estima que para el 2012 habrá en nuestro país al menos 724,791 adultos mayores de 70 años, cifra que aumentará al menos a 970,565 en el 2020 y a 1'499,491 en 2030 [1].

Por otra parte resulta muy importante estimar la prevalencia de la discapacidad en los hogares. El censo del 2000 reportó que en 1'561,993 hogares del país contaban en ese momento al menos con una persona con discapacidad, lo que representó el 7 % del total de hogares del país, en los que residían un total de 7'136,285 personas (7.1 % de la población total del país).

Otro aspecto importante ha sido la prevalencia de los distintos tipos de discapacidad (Ver Figura 1.3), por lo cual en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, se consideraron cinco tipos de discapacidad: motriz, visual, mental, auditiva y del lenguaje; además integró en la categoría “otros”, el resto de los tipos de discapacidad. Así, se pudo observar que la discapacidad motriz es la más frecuente en la población mexicana, ya que está presente en el 45.3 % de las personas con discapacidad. En segundo lugar se encuentra la discapacidad de tipo visual (26 %), que incluye a las personas ciegas y a quienes tienen debilidad visual. En tercer lugar figura la discapacidad mental (16.1 %), en cuarto la auditiva (15.7 %) y en quinto, la discapacidad del lenguaje (4.9 %) [1].

También es importante, analizar su distribución por tipo en los diferentes grupos de edad

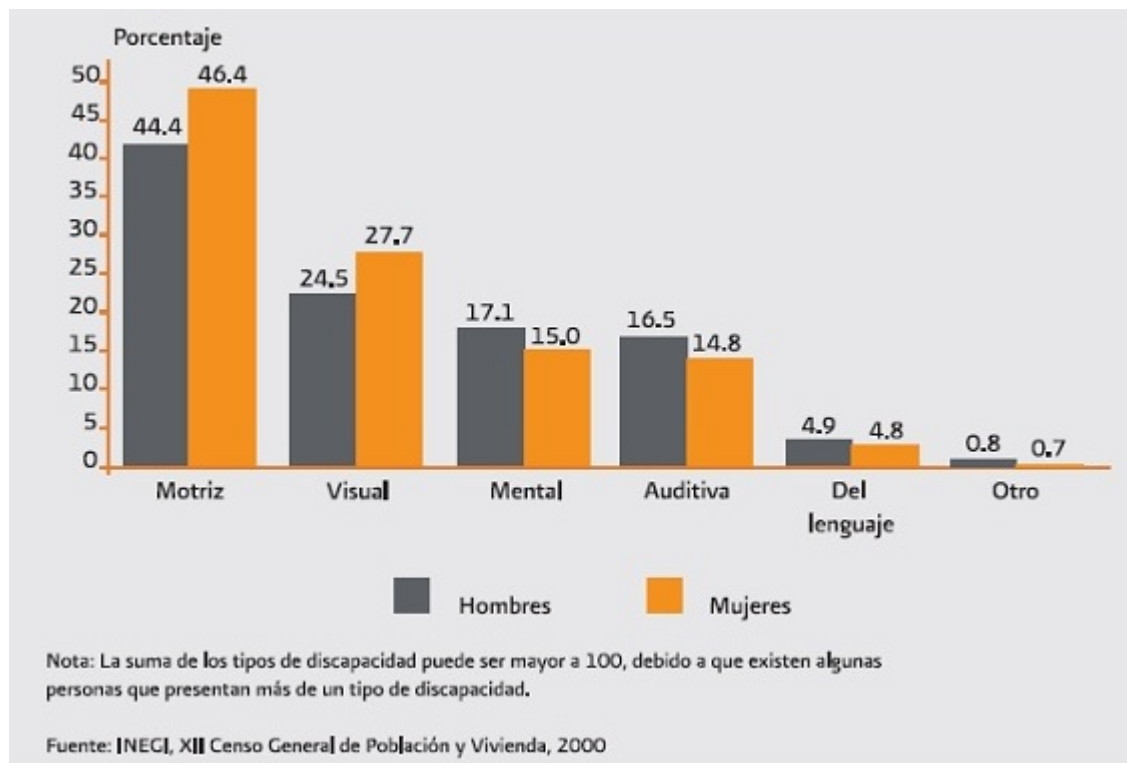


Figura 1.3: Distribución de la población con discapacidad, por tipo y sexo, en México en el 2003 (PRONADIS 2009-2012)

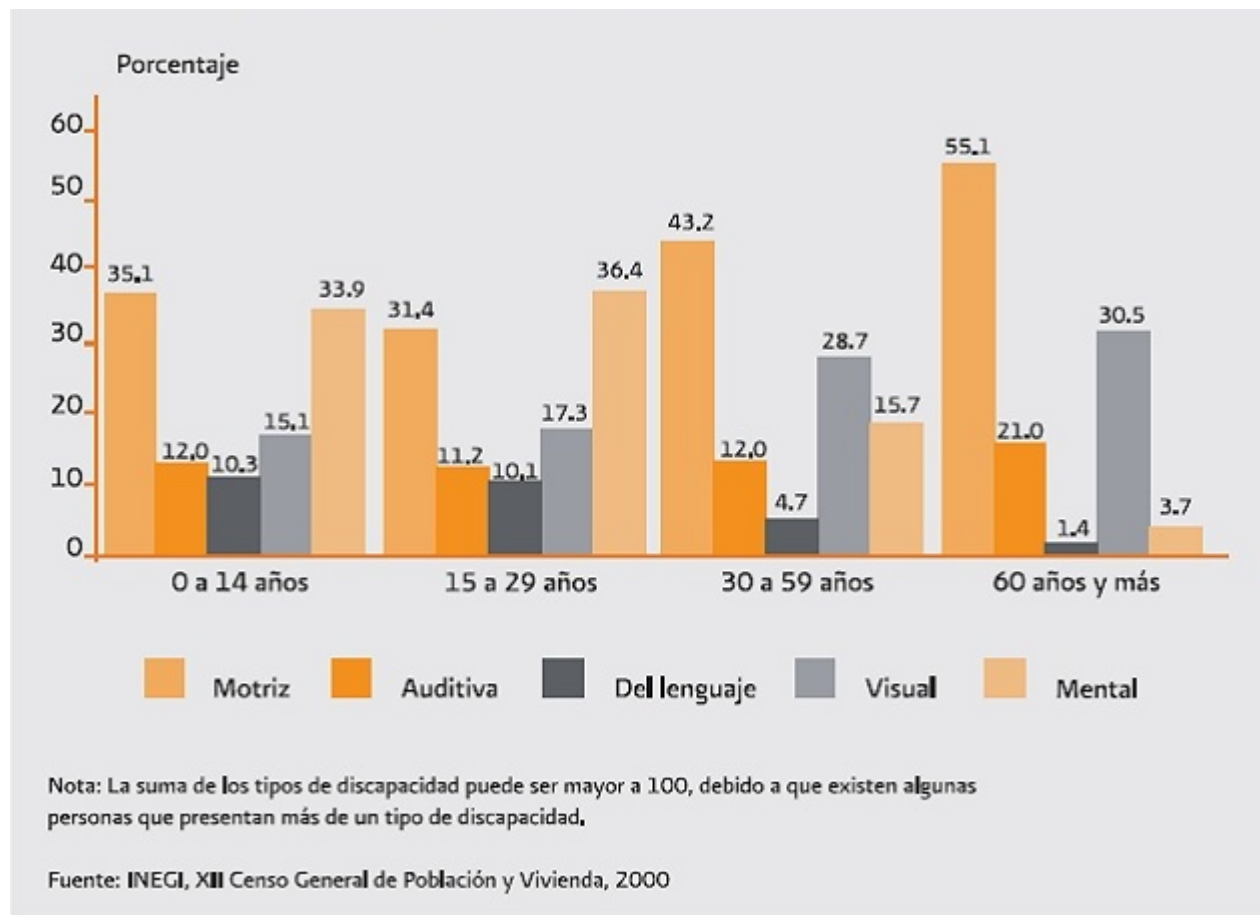


Figura 1.4: Distribución de la Población con Discapacidad, por grupos de edad y tipo de discapacidad, en México en el 2003 (PRONADIS 2009-2012)

(Ver Figura 1.4). En niños y niñas con discapacidad de 0 a 14 años de edad, la discapacidad motriz y la mental son las más frecuentes y en conjunto están presentes en casi el 70 % del total. En este mismo rango de edad, las discapacidades auditiva y del lenguaje se encuentran en más del 20 % de los casos.

Entre adolescentes y jóvenes con discapacidad de 15 a 29 años de edad, tiene mayor presencia la discapacidad mental (36.4 %), pero la motriz afecta a casi la tercera parte de este grupo.

Conforme avanza la edad, se incrementa la frecuencia de la discapacidad motriz hasta alcanzar un valor superior a 55 % en adultos mayores. Un comportamiento semejante presenta

la discapacidad visual, que se encuentra en el 17.3 % de la población con discapacidad de 15 a 29 años y se eleva hasta 30.5 % en el grupo de adultos mayores [1].

1.2. Descripción de la investigación

Esta investigación se basa en la hipótesis de que es posible modelar las preferencias de locomoción de las personas con discapacidad a partir de sus capacidades para andar y sus percepciones acerca de la accesibilidad de las rutas. Esta hipótesis conduce al problema de modelar las percepciones y las capacidades o funcionalidades de las personas.

Modelar las capacidades de las personas no es tarea fácil ni tampoco lo es modelar sus percepciones. Los modelos basados en agentes representan una propuesta para enfrentar esta complejidad, por lo que esta investigación explora la posibilidad de incorporar a los agentes las características que les permitan representar las capacidades para andar de las personas, así como la de percibir el entorno de manera similar a ellas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general es crear un modelo computacional basado en agentes que permita representar las preferencias de locomoción de las personas con discapacidad a partir de sus capacidades y sus percepciones de accesibilidad.

1.3.2. Objetivos específicos

Para lograr el objetivo antes planteado se deben realizar los siguientes objetivos particulares:

- Construir una arquitectura de agente que permita representar las capacidades perceptivas de un ser humano.
- Probar la arquitectura con distintos tipos de capacidades perceptivas como pudieran ser hápticas y de percepción de accesibilidad.

1.4. Metodología

La investigación descrita en el presente documento surge como respuesta a la necesidad de descifrar los factores que intervienen en el comportamiento locomotor que exhiben las personas con discapacidad cuando caminan por un lugar determinado.

Así pues se empezó por reunir información relacionada con la situación actual de la discapacidad, así como las clasificaciones de la misma, con la finalidad de identificar los grupos de estudio.

Además se realizó investigación documental para obtener información acerca de las características de diseño que deben reunir las instalaciones físicas para considerarlas propicias para el desplazamiento de personas con discapacidad.

Se aplicaron encuestas y entrevistas con la finalidad de obtener información relacionada con la percepción de accesibilidad y el comportamiento locomotor de personas con discapacidad.

Se revisaron diferentes arquitecturas de agentes, encontrando que la arquitectura BDI

era la más adecuada para modelar procesos mentales como los que involucran la toma de decisiones en los seres humanos. Sin embargo, se encontró que dicha arquitectura no especifica los procesos perceptivos de los agentes ni como se pueden procesar percepciones vagas o imprecisas. En consecuencia, se extendió la arquitectura BDI para permitir a los agentes realizar sus procesos de razonamiento a partir de percepciones imprecisas.

Para la construcción del modelo se utilizó la arquitectura BDI extendida y se tomó como referencia la metodología para el modelado basado en agentes propuesta por Gilbert [4], la cual menciona lo siguiente:

- 1 Se definen los tipos de objetos que forman parte de la simulación, donde tales objetos son agentes representando individuos u organizaciones, además habrán agentes que representarán los objetos inanimados tales como comida u obstáculos.
- 2 Se definen los atributos de cada objeto en la simulación, estos atributos pueden ser propiedades tales como tamaño, color o velocidad, o variables de estado, tales como salud, energía o número de amigos.
- 3 Especificar el ambiente en el cual los objetos son localizados.
- 4 Crear lista de acciones generadas por las interacciones de los agentes.
- 5 Crear un diagrama de secuencia resumiendo las dinámicas generadas por el modelo.
- 6 Diseñar interfaz de usuario.

Se diseñaron casos de estudio para evaluar el modelo, para lo cual se ha tomado como referencia el modelo de Gilbert y Troitzsch [4]. La Figura 1.5 muestra la estrategia a seguir para la evaluación del modelo.

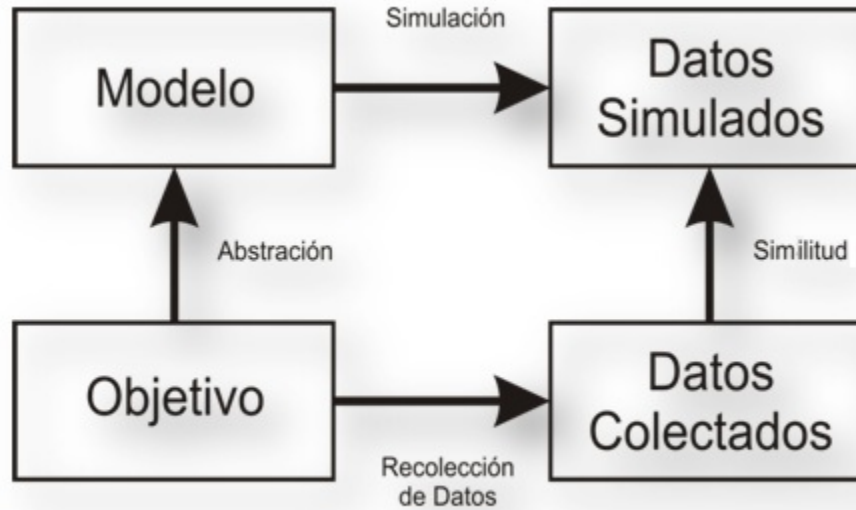


Figura 1.5: La simulación como método de investigación [4]

1.5. Organización del documento

El resto del presente documento está organizado de la siguiente manera:

En el Capítulo 2 se desarrolla el marco teórico donde se presenta la teoría relacionada con la arquitectura de agentes y sistemas de inferencia basados en lógica difusa; así como la sección donde se presentan avances relacionados a modelado de movilidad de seres humanos, simulación basada en agentes y proyectos afines cuyo objeto de estudio son las personas con discapacidad.

En el Capítulo 3 se presenta la arquitectura BDI extendida, que se propone con la finalidad de incorporarle a los agentes la capacidad de procesar percepciones incompletas o imprecisas para formular sus creencias.

En el Capítulo 4 se describen los casos de estudio desarrollados con la finalidad de probar las aportaciones del Capítulo 3.

En el Capítulo 5 se presentan las conclusiones de la investigación a partir del análisis de

resultados de los casos de estudio.

Por último, al final de éste documento (en los Anexos) se presentan especificaciones de instalaciones accesibles y los instrumentos utilizados para recolectar información.

Capítulo 2

Marco teórico

En la actualidad el estudio del comportamiento humano es una necesidad imperante, como lo demuestran algunos trabajos, en los cuales claramente establecen que para poder sugerir mejoras en el ambiente [5] es necesario estudiar a fondo el comportamiento de los seres humanos; y es el modelado basado en agentes una alternativa efectiva, como lo mencionan algunos autores [6]. Dicho modelado debe poder imitar la realidad lo mejor posible, para que los resultados de su estudio sean de utilidad, por lo cual los agentes inteligentes constituyen una alternativa bastante efectiva, especialmente si dicha inteligencia es provista por mecanismos de inferencia basados en sistemas difusos como lo mencionan algunos autores [7].

Por otra parte para poder estudiar el comportamiento humano desde el enfoque de sus preferencias de locomoción al seleccionar una ruta con base en su percepción de accesibilidad exige que se consideren las capacidades y funcionalidades de los seres humanos, pues se considera que existe una relación muy estrecha entre discapacidad o disminución de ciertas funcionalidades y la percepción de accesibilidad para formular las preferencias de locomoción al elegir una ruta de un conjunto de rutas posibles.

En las siguientes secciones de éste capítulo se establecen las definiciones de algunos conceptos mencionados a lo largo del presente trabajo con la finalidad de contextualizar el proyecto presentado en éste documento.

2.1. Discapacidad, funcionalidad y accesibilidad

2.1.1. Discapacidad

La discapacidad es una condición bajo la cual ciertas personas presentan alguna deficiencia física, mental, intelectual o sensorial que a largo plazo afectan la forma de interactuar y participar plenamente en la sociedad [1, 8].

La Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, aprobada por la ONU en 2006 [8], define de manera genérica a quien posee una o más discapacidades como persona con discapacidad.

Si bien es cierto que es correcto emplear los términos como “discapacitados”, “ciegos”, “mudos”, “sordos”, pueden ser considerados despectivos u ofensivos, ya que para algunas personas dichos términos “etiquetan” a quien padece la discapacidad, lo cual interpretan como una forma de discriminación. En esos casos, para evitar conflictos de tipo semántico, es preferible usar las formas “personas con discapacidad”, “personas sordas”, “personas con movilidad reducida” y así sucesivamente, pero siempre anteponiendo “personas” como un prefijo, con la finalidad de hacer énfasis en sus derechos humanos y su derecho a ser tratados con igualdad [1].

En términos generales [1] los tipos de discapacidad pueden ser:

- Motriz: Se refiere a la pérdida o limitación de una persona para moverse.

- Visual: La pérdida de la vista o dificultad al ver con alguno de los ojos.
- Mental: Abarca la limitación del aprendizaje de nuevas habilidades, así como para poder interactuar con otras personas.
- Auditiva: Pérdida o limitación del oído para poder escuchar.

2.1.2. Clasificación de la discapacidad

La introducción de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) de la Organización Mundial de la Salud [3] surge como respuesta para integrar y estandarizar una variedad de modelos conceptuales que se han propuesto para estudiar, entender y explicar, la discapacidad y el funcionamiento de las personas.

Así pues, proporciona el marco conceptual para codificar un amplio rango de información relacionada con la salud (por ejemplo: el diagnóstico, el funcionamiento y la discapacidad) y emplea un lenguaje estandarizado que posibilita la comunicación sobre la salud y la atención sanitaria entre diferentes disciplinas y ciencias en todo el mundo.

La mencionada clasificación está organizada de la siguiente manera:

- La CIF se compone de dos partes, cada uno con dos componentes:

Parte 1. Funcionamiento y Discapacidad

- (a) Funciones y Estructuras Corporales
- (b) Actividades y Participación

Parte 2. Factores Contextuales

- (c) Factores Ambientales
- (d) Factores Personales

- Cada componente puede ser expresado tanto en términos positivos como negativos.
- Cada componente contiene varios dominios y en cada dominio hay categorías llamadas unidades de clasificación. La salud y los estados relacionados con la salud de una persona pueden registrarse seleccionando el código o códigos de la categoría apropiada, añadiendo los calificadores, que son códigos numéricos que especifican la magnitud del funcionamiento o la discapacidad en esa categoría, o la extensión por la que un factor contextual es un facilitador u obstáculo.

La CIF [3], distingue entre las funciones del cuerpo (fisiológico o psicológico, visión) y las estructuras del cuerpo (piezas anatómicas, ojo y estructuras relacionadas). La debilitación de la estructura o la función corporal se define como participación de la anomalía, del defecto, de la pérdida o de otra desviación significativa de ciertos estándares generalmente aceptados de la población, que pueden fluctuar en un cierto plazo. La actividad se define como la ejecución de una tarea o de una acción. La CIF enumera 9 amplios dominios del funcionamiento que pueden verse afectados:

- Aprendiendo y aplicando conocimiento
- Tareas y demandas generales
- Comunicación
- Movilidad
- Cuidado de sí mismo
- Vida doméstica
- Interacciones y relaciones interpersonales
- Áreas importantes de la vida

- Vida en comunidad, social y cívica

Características estructurales de la CIF

Al utilizar la CIF resulta importante considerar las siguientes características estructurales que la rigen:

- La CIF provee definiciones operacionales estandarizadas. Dichas definiciones describen los atributos de cada dominio y contienen información sobre lo que se incluye y excluye de cada dominio. Por ejemplo las funciones de la visión se definen en términos de funciones de la forma y el contorno del ojo, desde ver objetos a distancias variables utilizando uno o ambos ojos, de tal manera que la gravedad de las dificultades de la visión puede codificarse en los niveles de leve, moderado, grave o total.
- Utiliza un sistema alfanumérico en el que las letras “b”, “s”, “d” y “e” representan funciones corporales, estructuras corporales, actividades y participación, y factores ambientales respectivamente. Las letras van seguidas de un código numérico, el cual se forma de la siguiente manera: el primer dígito indica el capítulo, los siguientes dos dígitos identifican el segundo nivel, seguidos de un dígito para el tercer nivel y un dígito para el cuarto nivel.
- Las categorías están incluidas de manera jerárquica, es decir la definición de las categorías superiores incluyen subcategorías más detalladas.
- Cualquier individuo puede tener un rango de códigos en cada nivel, los cuales pueden ser independientes o interrelacionados.
- Los códigos se consideran completos cuando tienen un calificador, el cual indica la magnitud del nivel de salud (gravedad del problema). Los calificadores se componen

por uno, dos o más números después del punto decimal. El uso de cualquier código debe acompañarse de al menos un calificador.

- Todos los componentes de la CIF se cuantifican utilizando la misma escala genérica. Tener un problema puede significar tanto una deficiencia, como una limitación, restricción o barrera, dependiendo del dominio; por lo tanto se deberán elegir los vocablos calificadores adecuados, tal como se muestra entre paréntesis (Ver 3er columna de Tabla 2.1), dependiendo del dominio relevante.

Tabla 2.1: Descripción de los vocablos asociados a los calificadores [3]

Calificadores	Vocablos	Porcentaje
xxx.0	NO hay problema (ninguno, insignificante, ...)	0–4 %
xxx.1	Problema LIGERO (poco, escaso, ...)	5–24 %
xxx.2	Problema MODERADO (medio, regular, ...)	25–49 %
xxx.3	Problema GRAVE (mucho, extremo, ...)	50 –95 %
xxx.4	Problema COMPLETO (total, ...)	96 –100 %
xxx.8	sin especificar	
xxx.9	no aplicable	

2.1.3. Accesibilidad

La accesibilidad es el grado en el que todas las personas pueden utilizar un objeto, visitar un lugar o acceder a un servicio, independientemente de sus capacidades técnicas, cognitivas o físicas. La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [8], también subraya que hay que garantizar a las personas con discapacidad la igualdad de acceso a las TIC y contribuirá a eliminar los obstáculos que impiden el acceso a la información, en particular por Internet. Las leyes y reglamentos nacionales pueden fomentar el cumplimiento de las normas de accesibilidad [1].

Accesibilidad también consiste en la definición de productos y entornos para ser usados por todas las personas al máximo posible, sin adaptaciones o necesidad de un diseño especializado.

Este concepto comprende una definición más amplia de lo que se conoce como accesibilidad para personas con discapacidad. Abarca que los entornos, productos y servicios que se ofrecen y usamos en nuestra vida diaria, sumando el acceso a las tecnologías de la información y la comunicación; deben estar disponibles para todos en igualdad de condiciones como parte esencial para la adecuada integración de los diversos grupos de la sociedad. Este concepto busca que los entornos desde su diseño, incluyan uno o más de los siguientes principios:

- Uso equitativo: que los entornos puedan ser usados por personas con distintas capacidades físicas.
- Uso flexible: que los entornos se acomoden a un amplio rango de referencias y habilidades individuales.
- Uso simple e intuitivo: que los entornos sean fáciles de entender, sin importar la experiencia, conocimientos, habilidades del lenguaje o nivel de concentración del usuario.
- Información perceptible: que los entornos transmitan la información necesaria al usuario para su desplazamiento de forma efectiva, sin importar las condiciones del medio ambiente o sus capacidades sensoriales.
- Tolerancia al error: que los entornos minimicen riesgos y consecuencias adversas de acciones involuntarias o accidentales.
- Mínimo esfuerzo físico: que los entornos puedan ser usados cómoda y eficientemente minimizando la fatiga.
- Adecuado tamaño de aproximación y uso: que los componentes de las construcciones proporcionen un tamaño y espacio adecuado para el acercamiento, alcance, manipulación y uso de los servicios independientemente del tamaño corporal, postura o movilidad del usuario.

Instalaciones accesibles

En primera instancia es importante identificar las adecuaciones físicas accesibles que están a disposición de las personas con discapacidad, así como los diversos espacios públicos donde pueden estar presentes dichas adecuaciones. También resulta importante establecer primero las características físicas que deben tener las instalaciones accesibles, para utilizar esa información en la construcción de modelos lo suficientemente apegados a la realidad. Así pues a continuación se describen las principales adecuaciones accesibles y sus características con base a recomendaciones sobre accesibilidad [40] [41].

Para facilitar el estudio e identificación de los espacios e instalaciones accesibles se han clasificado en cinco tipos [40], en función de los lugares donde pueden existir y los servicios que brindan, los cuales son:

- a) Espacios abiertos
- b) Espacios cerrados
- c) Elementos arquitectónicos y urbanos
 - Elementos
 - Accesorios
 - Mobiliario
- d) Sanitarios
- e) Protección civil

Cabe mencionar que para efectos del presente trabajo consideran con mayor relevancia las primeras 3 categorías debido a que en ellas se encuentran las adecuaciones accesibles destinadas a facilitar la movilidad autónoma y segura de las personas.

a) Instalaciones accesibles en espacios abiertos De acuerdo con [40] las instalaciones accesibles más comunes en los espacios abiertos de una ciudad son las siguientes: andadores, banquetas, estacionamientos, pasos peatonales y rampas. Para detalles de sus especificaciones puede consultar en los Anexos la sección A.1.

b) Instalaciones accesibles en espacios cerrados En espacios cerrados las instalaciones accesibles más comunes son las siguientes: auditorios, cocinetas, comedores y restaurantes, dormitorios/hospedaje, vestíbulos y vestidores. Para detalles de sus especificaciones puede consultar en los Anexos la sección A.2.

c) Elementos arquitectónicos y urbanos: Los elementos arquitectónicos y urbanos que comunmente se regulan son los siguientes:

- c.1) Elementos: Las instalaciones consideradas como elementos son: circulaciones horizontales, elementos que sobresalen de fachadas, elevadores, entradas, escaleras, pisos (acabados y detalles), puertas y rampas. Para detalles de sus especificaciones puede consultar en los Anexos la sección A.3.
- c.2) Accesorios: Los elementos comunes en esta categoría son los siguientes: barandales y pasamanos, barras de apoyo, manijas, ventanas, apagadores y contactos. Para detalles de sus especificaciones puede consultar en los Anexos la sección A.3.
- c.3) Mobiliario: Los elementos comunes considerados mobiliario que están sujetos a la verificación de accesibilidad son los siguientes: bebederos, mostradores y taquillas, señalización y teléfonos públicos. Para detalles de sus especificaciones puede consultar en los Anexos la sección A.3.

Ruta accesible

Es la posibilidad de ingreso que tienen todas las personas a servicios y áreas físicas (mediante pisos, andadores, puertas, etc) contando con todas las facilidades y libertades para desplazarse horizontal y verticalmente y permanecer en el lugar de forma segura; esta ruta será desde cualquier punto de acceso al inmueble incluyendo banquetas, estacionamientos y paradas de transporte público y deberá estar concebida libre de obstáculos y barreras y con características y dimensiones que eficiente la accesibilidad de las personas con discapacidad.

Los tipos y elementos considerados en las circulaciones horizontales son:

- Pisos y patios
- Guías en piso para conducción de personas con discapacidad visual
- Pasillos

Los tipos y elementos en circulaciones verticales se clasifican en:

- Rampas
- Escaleras
- Elevadores y plataformas

2.2. Agentes autónomos inteligentes

Generalmente los agentes autónomos son vistos como entidades inteligentes, principalmente debido a su capacidad de percibir el ambiente y reaccionar tanto a él como a la comunicación con otros agentes (ver Figura 2.1), tales reacciones suelen efectuarse después de un proceso de deliberación interno al agente, lo cual suele llamarse como razonamiento.

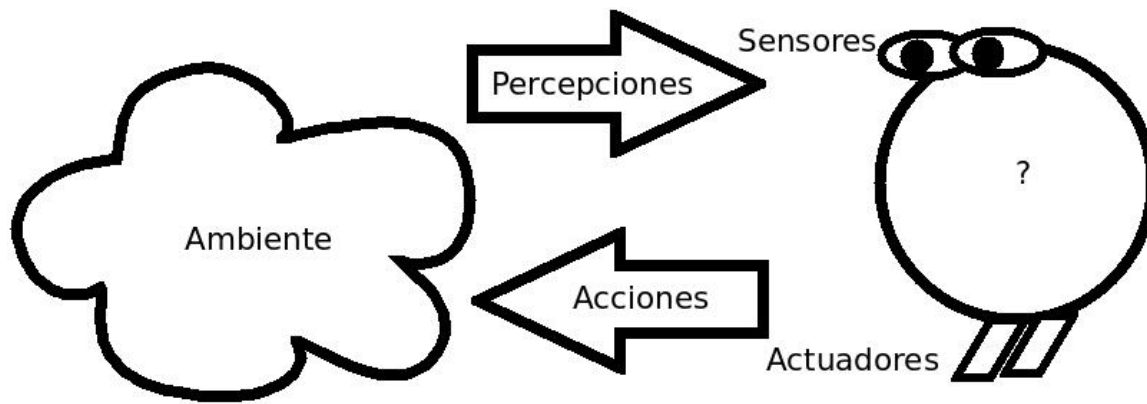


Figura 2.1: Agente autónomo interactuando con el ambiente

Dicho de otra manera, en términos computacionales podemos decir que un agente equivale a un proceso de software que se ejecuta como huesped del sistema operativo, dicho proceso existe dentro de cierto ambiente, y se puede comunicar a través de un mecanismo de comunicación interproceso, usualmente por medio del elemento de red presente en el sistema operativo, utilizando protocolos de comunicación entre otros servicios del sistema operativo donde reside.

Un agente es un sistema reactivo que exhibe cierto grado de autonomía en el sentido de que podemos delegarle alguna tarea; y el sistema por si solo determina la mejor manera de realizar dicha tarea. Dichos sistemas los llamamos agentes porque pensamos en ellos como entes activos, propositivos productores de acciones: ellos son enviados al ambiente para alcanzar objetivos para nosotros, y nosotros queremos que ellos activamente persigan esos objetivos, decidiendo por sí mismos cual es la mejor manera para alcanzar dichos objetivos, en lugar de tener que decirles paso a paso como lograrlo. Podemos imaginar que les delegamos tareas a esos agentes, como reservar hotel, o pujar en nuestra representación en una subasta en línea, o limpiar la oficina por nosotros, tal como si fueran agentes robot.

2.2.1. Características de los agentes autónomos

Consideramos que los agentes son sistemas los cuales están situados en cierto ambiente. Con lo anterior queremos decir que los agentes son capaces de sensor el ambiente (por medio de sensores), y tienen un repertorio de acciones posibles que ellos pueden realizar (por medio de efectores o actuadores) de tal manera que pueden modificar su ambiente. La pregunta clave que encara el agente es como pasar de la entrada de los sensores a la salida de las acciones: como decidir que hacer basado en la información obtenida por medio de los sensores.

El ambiente que ocupa un agente puede ser físico (en el caso de robots que habitan en el mundo físico) o un ambiente de software (en el caso de agentes de software que habitan en el sistema operativo de una computadora o una red de computadoras).

Las decisiones acerca de cual acción realizar son traducidas en acciones actuales por medio de un mecanismo externo al agente; usualmente, ello es logrado por medio de un tipo de API. En casi todas las aplicaciones realistas, los agentes tienen al menos control parcial sobre su ambiente.

Entonces mientras ellos pueden realizar acciones que cambian su ambiente, no pueden en general controlarlo completamente. Lo anterior se debe a que a menudo existen otros agentes que cohabitan en el ambiente, quienes también exhiben control sobre su parte del ambiente. Además de estar situados en un ambiente, ¿Cuáles otras propiedades son parte de un agente racional? Flores [9] y Wooldridge [10] mencionan que un agente autónomo es una entidad física o virtual que tiene las siguientes propiedades:

- posee autonomía;
- es proactivo;
- es reactivo;

- posee habilidad social;
- es capaz de actuar en un ambiente;
- puede comunicarse directamente con otros agentes;
- su actuación se rige por un conjunto de tendencias (por medio de objetivos individuales o por una función de satisfacción/sobrevivencia la cual trata de optimizar);
- procesa y gestiona sus propios recursos;
- es capaz de percibir su ambiente (limitado por su capacidad de percepción);
- internamente tiene solamente una representación parcial de su ambiente (y por lo tanto no del todo);
- posee habilidades y puede ofrecer servicios;
- puede ser capaz de reproducirse por si mismo;
- su comportamiento esta orientado hacia la satisfacción de sus objetivos, considerando sus recursos y habilidades; desde luego dependiendo de su percepción, sus representaciones del entorno y las comunicaciones que reciba.

Autonomía

Autonomía es un concepto muy amplio, en un extremo se encuentran programas como hojas de cálculo y procesadores de palabras que muestran poca o nula autonomía. Todo lo que ocurre dentro de dichas aplicaciones es debido a que el usuario hace que eso suceda ya sea seleccionando una opción de un menú o dando clicks en botones. Tales programas no toman la iniciativa en ningún sentido. En el otro extremo del espectro estan los usuarios quienes son completamente autónomos. Los usuarios pueden decidir en que creer y hacer lo que se les

antoje; aunque la sociedad típicamente restringe su autonomía en varios sentidos, evitando que hagan ciertas cosas.

Los usuarios tienen sus propios objetivos, su propia agenda y autonomía, lo cual significa que realmente son de ellos: nadie y nada les dicta que hacer. Obviamente la sociedad trata de moldear sus creencias y objetivos, pero esa es otra historia además las personas tienen la capacidad del libre albedrío y son capaces de decidir que tanto influye en ellos la sociedad.

Para este trabajo de investigación son de interés los programas de computadora que están entre los dos extremos antes mencionados. Se desea delegar objetivos a los agentes y que ellos decidan la mejor manera de actuar para alcanzarlos. Entonces la habilidad de los agentes para construir planes está delimitada por los objetivos que se les delegaron. Mas aún la manera en la que los agentes actuarán para alcanzar sus objetivos estará delimitada por los planes que se les asignen a dichos agentes, quienes definirán la mejor manera en la que actuarán para alcanzar los objetivos y subobjetivos, esto último se conoce también como construcción de planes.

En resumen la autonomía de un agente significa que es capaz de operar independientemente para poder alcanzar los objetivos que se le delegan. Entonces un agente autónomo toma sus propias decisiones (es decir de manera independiente) acerca de como alcanzar los objetivos que se le delegaron. Dicho de otra manera sus decisiones y sus acciones están bajo su propio control y no son dirigidas por otros.

Proactividad

La proactividad significa ser capaz de exhibir un comportamiento dirigido por objetivos. Por ejemplo si a un agente, se le ha delegado un objetivo, entonces se espera que el agente trate de alcanzarlo. Es decir los agentes completamente pasivos, que nunca tratan de hacer algo, no tienen ésta característica. Tal es el caso de los objetos, y los servicios web, pues no

hacen nada a menos que se invoque un método de ellos.

Reactividad

Ser reactivo significa tener la capacidad de responder a los cambios en el ambiente. En la vida cotidiana rara vez los planes se ejecutan conforme a lo esperado. Frecuentemente se ven frustrados, accidentalmente o deliberadamente. Cuando los planes fracasan, se responde seleccionando un plan alternativo. Algunas de esas respuestas se dan al nivel de reflejos – si una persona siente que se quema la mano la quitará del fuego. Sin embargo, algunas respuestas requieren más deliberación – el camión no ha pasado por la esquina, ‘¿Qué más se puede hacer para llegar al destino?’

Diseñar un sistema que simplemente responda a los estímulos del ambiente no es difícil, basta con crear una tabla que relacione los estados posibles del ambiente con las acciones correspondientes. De igual manera diseñar un sistema orientado a objetivos es relativamente sencillo pues eso es lo que hacen la mayoría de los programas en la actualidad, pues mayormente son piezas de software diseñados para alcanzar ciertos objetivos. Sin embargo, implementar un sistema que alcance un balance de su comportamiento entre ser dirigido por objetivos y ser reactivo, resulta ser difícil.

Habilidad social

Todos los días, alrededor del mundo, existen millones de operaciones de intercambio de información entre computadoras y humanos así como puramente entre computadoras. En éste sentido no es complicado construir sistemas computacionales que tengan cierto grado de habilidad social. Sin embargo, la habilidad de intercambiar bytes no es el tipo de habilidad social que se requiere de los agentes autónomos. Es decir se requieren construir agentes capaces de cooperar y coordinar sus actividades con otros agentes, para así poder alcanzar

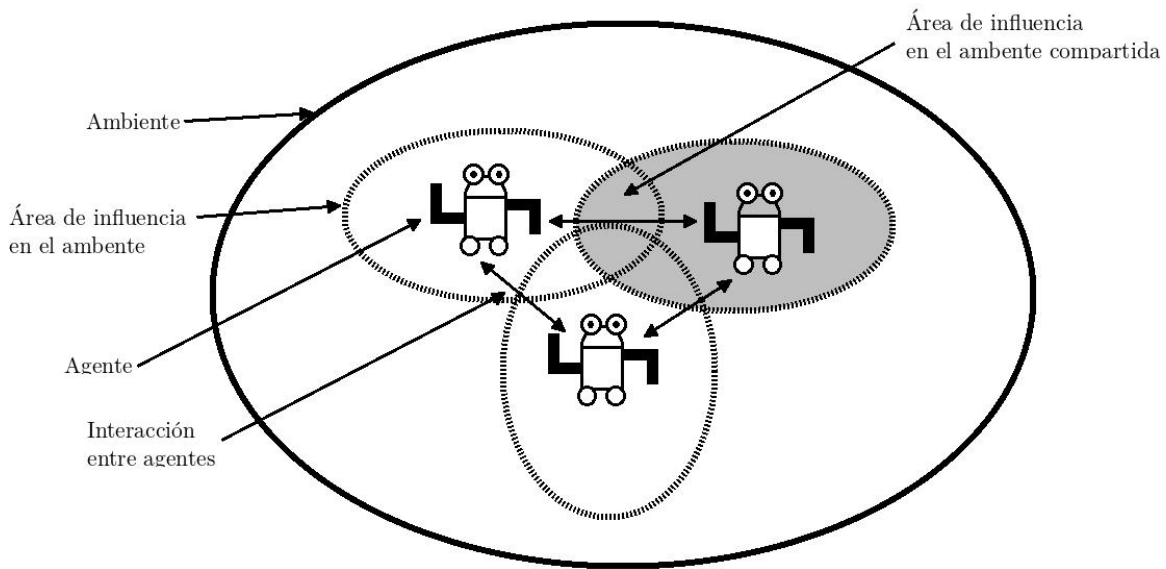


Figura 2.2: Sistema Multi-agente

sus objetivos.

Así pues, para poder tener este tipo de habilidad social se requieren agentes capaces comunicarse entre sí no sólo en términos de intercambio de información, intercambiando llamados a sus métodos, sino que también pueden comunicarse a nivel conocimiento. Es decir agentes que pueden comunicar, a otros agentes, sus creencias, objetivos y planes.

2.2.2. Sistemas multi-agente

En la práctica los sistemas con un sólo agente son muy escasos. El escenario común está compuesto por agentes que cohabitan en un ambiente, lo cual se conoce como sistema multi-agente [12].

La Figura 2.2 muestra un panorama de un sistema multi-agente. La elipse del exterior representa el ambiente compartido que ocupan los agentes, cada agente tiene su área de influencia, es decir una porción del ambiente que ellos pueden controlar total o parcialmente. Puede ocurrir que un agente tenga una habilidad única para controlar parte de su ambiente,

pero más generalmente, y más problemáticamente puede ocurrir que las áreas de influencia de los agentes se traslapen; dicho de otra manera, que el ambiente sea controlado conjuntamente por varios agentes. Esto hace que la vida de los agentes sea más complicada, porque para que un agente pueda lograr un resultado deseado en el ambiente; debe tomar en cuenta como actuarán los demás agentes que tienen cierto control sobre el mismo ambiente.

En la Figura 2.2 se pueden apreciar los agentes y se representan con flechas bidireccionales las relaciones que existen entre ellos. También puede ocurrir que un agente puede estar al mismo nivel que otro o puede tener cierto nivel de autoridad sobre otro. Finalmente éstos agentes tendrán cierto conocimiento sobre otros, aunque puede darse el caso en el que un agente no tiene el conocimiento total sobre los demás agentes en el sistema.

2.2.3. Agente de software

Un agente de software es un proceso computacional que implementa la autonomía, funcionalidad de comunicación y percepción en una aplicación orientada a agentes. Los agentes de software son instancias que se comunican entre sí a través de un lenguaje y ejecutan comportamientos que dan la funcionalidad al sistema. Para la Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), las instancias de esta abstracción son el elemento básico para implementar una aplicación de acuerdo a una arquitectura de agentes de software [13].

Los agentes se definen como entidades con atributos útiles en un campo de aplicación específico. Los agentes inteligentes son vistos como entidades que emulan procesos mentales o simulan un comportamiento racional; asistentes personales, donde los agentes son entidades que ayudan a los usuarios a realizar una tarea, como puede ser encontrar rutas para desplazarse por un centro comercial; agentes móviles, donde las entidades son capaces de viajar por una red para lograr sus objetivos; agentes de información, donde los agentes filtran y organizan de forma coherente datos dispersos y no relacionados; y agentes autónomos, don-

de los agentes son capaces de cumplir acciones no supervisadas [14]. Los agentes cognitivos representan sistemas que interactúan con su medio ambiente de manera cognitiva. Se especializan en las características de percibir, procesar y representar conocimiento, para actuar en consecuencia.

2.3. Arquitectura de agentes

Las arquitecturas de agentes conceptualizan a los agentes como un agregado de componentes de percepción, acción y razonamiento. Los componentes de percepción alimentan a los de razonamiento, los cuales gobiernan las acciones de los agentes, incluyendo lo que se va a percibir a continuación [15].

2.3.1. Arquitectura SOAR

SOAR originalmente viene de las palabras en inglés State (estado), Operator (operador) And (y) Result (resultado), establece una representación de solución de problemas mediante la aplicación de un operador a un estado para obtener un resultado.

SOAR es una arquitectura cognitiva [16] creada por John Laird, Allen Newell, and Paul Rosenbloom en la Universidad de Carnegie Mellon. Es tanto una visión de lo que es el conocimiento y una implementación de esa visión a través de una arquitectura de programas de computadora para inteligencia artificial. Desde sus inicios en 1983 y su presentación en un artículo en 1987, ha sido ampliamente usado por los investigadores de inteligencia artificial para modelar diferentes aspectos del comportamiento humano [17].

El principal objetivo del proyecto SOAR es poder manejar completamente el espectro de capacidades de un agente inteligente, desde lo altamente rutinario hasta los problemas extremadamente difíciles. Para poder lograr lo antes mencionado, según la teoría subyacente

de SOAR, se necesita poder crear representaciones y utilizar las formas apropiadas de conocimiento tales como procedurales, declarativas y episódicas. Entonces SOAR debe direccionar una colección de mecanismos de la mente. También en la arquitectura subyacente de SOAR, la visión de un systema simbólico es esencial para la inteligencia general. Esto es conocido como la hipótesis del sistema simbólico físico. La visión, subyacente en SOAR, acerca del conocimiento son unidas a la teoría psicológica expresadas en el libro *Unified Theories of Cognition* de Allen Newell.

Mientras que el procesamiento de símbolos permanece en el núcleo de la arquitectura, versiones recientes de la teoría incorporan representaciones y procesos no-simbólicos, incluyendo el refuerzo en el aprendizaje, procesamiento de imágenes y modelado de emociones [18].

SOAR se basa en un sistema de producciones, usa explícitamente reglas de producción para regir su comportamiento; éstas son parecidas a la forma "si...entonces...", que también se usan en sistemas expertos. La solución de problemas se puede describir como una búsqueda de un estado objetivo, que representa la solución, dentro del espacio del problema (es decir sobre el conjunto de diferentes estados, los cuales pueden ser alcanzados por el sistema en un tiempo dado). Ésto es implementado por medio de la búsqueda de estados que gradualmente acercarán al sistema a su objetivo. Cada movimiento consiste de un ciclo de decisión que a su vez se compone de: una fase de elaboración (en la cual una variedad de diferentes partes de conocimiento relacionadas al problema son cargados en la memoria de trabajo de SOAR) y un procedimiento de decisión (que consiste calcular pesos a lo que se ha encontrado en la fase anterior y asigna preferencias para decidir la acción que se ejecutará). Además de la búsqueda dentro del espacio del problema, SOAR puede ser usado para instanciar técnicas de razonamiento tales como refuerzo del aprendizaje, las cuales no requieren modelos internos y detallados sobre el ambiente. De esta manera SOAR tiene un comportamiento flexible cuando se tienen cantidades variantes de conocimiento sobre las tareas.

Si el proceso de decisión antes descrito no es capaz de determinar una secuencia de acciones única, SOAR debe usar diferentes estrategias, conocidas como métodos débiles para resolver el estancamiento. Dichos métodos son apropiados para situaciones donde el conocimiento no es abundante. Algunos ejemplos son el análisis de medios y fines (que puede calcular la diferencia entre cada opción disponible y el estado objetivo) y un tipo de situación llamada escalar la colina. Cuando se ha encontrado una solución mediante uno de esos métodos, SOAR usa una técnica de aprendizaje llamada fragmentación para transformar la secuencia de acciones tomadas en una nueva regla. La nueva regla puede entonces aplicarse cada vez que SOAR encuentre la misma situación, es decir ya no volverá a llegar a un estancamiento cuando se vuelva a presentar un escenario igual.

A pesar de que el objetivo máximo de SOAR es alcanzar la inteligencia general, no existe evidencia de que dicho objetivo ya haya sido alcanzado. Defensores del sistema reconocen que SOAR aun carece de ciertos aspectos importantes de la inteligencia. Algunos ejemplos de capacidades faltantes incluyen la de crear nuevas representaciones por sí mismo, tales como a través de la agrupación jerárquica.

2.3.2. Arquitectura ACT-R

ACT-R viene de abreviar el término en inglés Adaptive Control of Thought-Rational que en español entenderíamos como “Control adaptativo del pensamiento racional”.

La teoría de ACT-R ha sido inspirada por el trabajo de Allen Newell y especialmente por su defensa (de toda la vida) de la idea de las teorías unificadas como el único medio para descubrir los fundamentos del conocimiento [19]. De hecho John Anderson usualmente da crédito a Allen Newell como la mayor fuente de influencia sobre su propia teoría.

ACT-R es una arquitectura cognitiva principalmente desarrollada por John Robert Anderson en la Universidad de Carnegie Mellon. Como toda arquitectura cognitiva ACT-R tiene

como objetivo definir las operaciones básicas e irreducibles, tanto cognitivas como perceptuales que sustentan la mente humana. En teoría cada tarea que los humanos pueden realizar debe consistir de una serie de esas operaciones discretas.

Muchos de los supuestos fundamentales de ACT-R son también inspirados por el progreso de la neurociencia cognitiva y ACT-R puede ser vista y descrita como un método de especificar la organización interna del cerebro de tal manera que permite la producción de conocimiento por los módulos individuales de procesamiento [20].

Al igual que otras arquitecturas cognitivas (SOAR) la teoría de ACT-R tiene una implementación computacional como un intérprete de un lenguaje de programación especial. El intérprete está escrito en Lisp y puede ser cargado en la mayoría de las distribuciones del lenguaje Lisp. Esto quiere decir que cualquier investigador puede descargar el código de ACT-R, cargarlo en una distribución de Lisp y tener acceso completo a la teoría de ACT-R en la forma de un intérprete.

También lo antes mencionado permite a los investigadores especificar modelos del conocimiento humano en la forma de un programa del lenguaje ACT-R. Las primitivas del lenguaje y los tipos de datos son diseñados para reflejar los supuestos teóricos acerca del conocimiento humano. Estos supuestos son basados en numerosos factores derivados de experimentos en el campo de la psicología cognitiva e imágenes del cerebro.

Como lenguaje de programación ACT-R es un ambiente de desarrollo donde los investigadores crean modelos (programas) para distintas tareas (por ejemplo resolver las torres de Hanoi, memorizar un texto, comprensión del lenguaje, comunicación, control aéreo, etc). Esos modelos reflejan los supuestos que hacen los modeladores acerca de las tareas de acuerdo a la visión del conocimiento de ACT-R. Desde luego dichos modelos pueden ser ejecutados.

La ejecución de un modelo produce una simulación paso a paso del comportamiento humano la cual especifica cada operación individual cognitiva (por ejemplo codificación en

memoria y recuperación, codificación visual y auditiva, programación motora y ejecución, manipulación de imágenes mentales). Cada paso está asociado con predicciones cuantitativas sobre demoras y exactitudes. Los modelos son probados comparando sus resultados con los datos recolectados en experimentos reales sobre el comportamiento de humanos.

En años recientes, ACT-R ha sido extendida para hacer predicciones cuantitativas de patrones de activación del cerebro, como se ha detectado en experimentos con fMRI (Imágenes de resonancia magnética sobre funciones o actividades del cerebro). En particular ACT-R se ha extendido para predecir la forma y tiempo de respuesta de varias zonas del cerebro estimando sus niveles de sangre y oxígeno, incluyendo las zonas de la mano y boca, en la corteza motora.

El supuesto más importante de ACT-R es que el conocimiento humano puede ser dividido en dos tipos de representaciones irreducibles: declarativas y procedurales.

Dentro del código de ACT-R, el conocimiento declarativo es representado en la forma de fragmentos, por ejemplo representaciones vectoriales de propiedades individuales, dónde cada una puede ser accesada por medio de una etiqueta.

Los fragmentos son almacenados y accedidos a través de buffers, los cuales son el punto de acceso a los módulos, como pueden ser estructuras cerebrales independientes.

Existen dos tipos de módulos:

- Módulos motores-perceptuales, que se encargan de ser interfaz con el mundo real (o con una simulación del mundo real). Los módulos de éste tipo que han sido más desarrollados son los módulos visuales y manuales.
- Módulos de memoria, los cuales a su vez están divididos en dos tipos:
 - Memoria declarativa, la cual consiste en hechos como por ejemplo: los plátanos son frutas, $2+3=5$, etc.

- Memoria procedural, hecha de producciones. Las producciones representan conocimiento acerca de como se hacen las cosas: por ejemplo conocimiento acerca de como escribir las letras, como hacer una suma, como manejar, etc.

Todos los módulos sólo pueden ser accedidos a traves de sus buffers. Los contenidos de los buffers en un momento dado representan el estado del modelo ACT-R en ese instante. La única excepción a ésta regla es el módulo procedural, el cual almacena y aplica conocimiento procedural. No tiene un buffer de acceso y es usado para acceder a los contenidos de otros módulos.

El conocimiento procedural es representado en la forma de producciones. El término producción refleja la implementación actual de ACT-R como un sistema de producciones, pero de hecho una producción es principalmente una notación formal para especificar el flujo de la información desde las distintas áreas del cerebro.

En cada momento, un buscador de patrones interno trata de localizar una producción que equivalga al estado actual de los buffers. Sólo una producción puede ser ejecutada en un momento dado. Cuando se ejecuta esa producción puede modificar los buffers y cambiar el estado del sistema. Entonces en ACT-R el conocimiento se despliega como una sucesión de ejecuciones de producciones.

2.3.3. Arquitectura BDI

Sus siglas son derivadas del concepto en inglés Belief-Desire-Intention (BDI) que en español se traduce a Creencias-Deseos-Intenciones, las cuales se usan para referirse al modelo del razonamiento práctico de los humanos, que fue desarrollado por Michael Bratman como un método para explicar como las intenciones gobiernan las acciones de los humanos.

BDI fundamentalmente depende de la psicología tradicional, la cual establece teorías sobre

los modelos mentales que elaboran los humanos sobre el mundo.

Se dice que BDI es parte de la inspiración detrás de la arquitectura de software con el mismo nombre, en la cual participó Bratman. Donde la noción de la intención se ve como una forma de limitar el tiempo dedicado a la deliberación de lo que se va a hacer, eliminando opciones inconsistentes con las intenciones actuales.

BDI también despertó el interés en psicología. BDI constituye la base del modelo computacional del razonamiento infantil. Se ha propuesto que los niños autistas no reconocen a las demás personas como agentes psicológicos (agentes con sus propias creencias). BDI se ha usado para desarrollar estrategias de rehabilitación para enseñar a los niños autistas sobre como razonar sobre las demás personas.

Modelo de Software BDI

BDI es también un modelo de software desarrollado para programar agentes inteligentes. Se caracteriza por la implementación de las creencias, los deseos y las intenciones de los agentes, actualmente usa dichos conceptos para resolver problemas mediante la programación de agentes.

Adicionalmente BDI provee un mecanismo para separar la actividad de seleccionar un plan (de una biblioteca de planes o una aplicación externa) de la ejecución de los planes que actualmente están activos. En consecuencia los agentes BDI son capaces de balancear el tiempo invertido en deliberar sobre los planes (diciendo que hacer) y ejecutando los planes (haciendo algo). Una tercera actividad relacionada con la construcción de los planes queda fuera del campo de estudio del modelo y queda a cargo del diseñador el implementarla según sus necesidades.

Para lograr esa separación, el modelo BDI implementa los aspectos principales de las teorías sobre el razonamiento práctico de los humanos propuestas por Bratman [22]. Es decir

se implementan las nociones de las creencias, los deseos y las intenciones de acuerdo a las nociones inspiradas por Bratman.

De acuerdo a Bratman las intenciones y los deseos son pro-actitudes (actitudes mentales relacionadas a la acción), pero las intenciones se distinguen porque son pro-actitudes que controlan la conducta. Además Bratman identifica a el compromiso como el factor que establece la diferencia entre el deseo y la intención, señalando que conduce a: la persistencia temporal de los planes y a la creación de planes futuros con base a aquellos con los cuales ya se ha comprometido. El modelo de software BDI parcialmente aborda esos problemas. Sin embargo, la persistencia temporal en el sentido referente al tiempo no es explorada. La naturaleza jerárquica de los planes es fácilmente implementada: un plan consiste en un número de pasos, algunos de los cuales pueden llamar a otros planes. La definición jerárquica de los planes por sí sola implica un tipo de persistencia temporal, toda vez que el plan general supremo permanece en efecto mientras los sub-planes son ejecutados [11].

Un aspecto importante del modelo de software BDI, en términos de relevancia en investigación, es la existencia de modelos lógicos a través de los cuales es posible definir y razonar acerca de los agentes BDI. Se han realizado investigaciones en esta área, por ejemplo para la axiomatización de algunas implementaciones de BDI, así como para las descripciones formales lógicas, donde destaca la propuesta de Anand Rao y Michael Georgeff's [24] [25]. Esta última propuesta, conocida como BDICTL, combina una lógica multimodal (que representa creencias, intenciones y deseos) con la lógica temporal. Dicho trabajo fue extendido por Wooldridge para definir la lógica de los agentes racionales conocida como LORA (del inglés Logic Of Rational Agents) [28], quien con ello incorporó la lógica de acciones. En principio LORA permite el razonamiento no sólo acerca de los agentes individuales, sino acerca de la comunicación y otras interacciones en un sistema multi-agente.

El modelo de software BDI está cercanamente relacionado con los agentes inteligentes,

pero por sí solo no garantiza que se implementen todas las características asociadas con esos agentes. Por ejemplo, permite que los agentes tengan creencias privadas, pero no obliga a que sean privadas, indica que los agentes construyen sus creencias a partir de sus percepciones, pero no dice cómo los agentes procesan sus percepciones para construir sus creencias, menos establece que se debe hacer para que los agentes puedan lidiar con las percepciones vagas o imprecisas. No establece nada respecto a la comunicación entre agentes. A pesar de que permite resolver problemas relacionados a la selección de planes tampoco establece lineamientos claros sobre la programación de agentes inteligentes.

Definiciones de la arquitectura básica BDI

Un agente BDI es un tipo particular de agente de software racional, impregnado de las actitudes mentales: creencias, deseos e intenciones.

A continuación definimos los componentes esenciales de la arquitectura BDI:

- **Creencias:** Las creencias representan el estado informal del agente, es decir sus creencias acerca del mundo que lo rodea (incluyéndose a sí mismo y a otros agentes). Las creencias también pueden incluir reglas de inferencia, permitiendo crear nuevas creencias a partir de las actuales. Usar el término creencia en lugar de conocimiento es reconocer que lo que un agente cree no necesariamente es cierto y de hecho sus creencias pueden cambiar en el futuro.
- **Depósito de creencias (en inglés Beliefset):** Las creencias son almacenadas en una base de datos llamada conjunto de creencias o base de creencias, sin embargo es una decisión de implementación.
- **Deseos:** Los deseos representan el estado motivacional del agente. Ellos representan objetivos o situaciones que el agente deseará lograr o satisfacer. Ejemplos de deseos

pueden ser: encontrar el mejor precio, ir a cierto lugar, etc.

- **Objetivos:** Un objetivo es un deseo que ha sido adoptado por el agente para ser alcanzado. El uso del término objetivo agrega una restricción futura al agente donde el conjunto de sus deseos activos deberá ser consistente. Por ejemplo no pueden haber deseos simultáneos de ir al parque y quedarse en casa, incluso aunque los dos sean deseables, forzosamente al adoptar uno el otro será excluido.
- **Intenciones:** Las intenciones representan el estado deliberativo del agente, es decir lo que el agente ha decidido hacer. Las intenciones son deseos con los cuales el agente tiene cierto grado de compromiso. En un sistema implementado esto significa que el agente ha empezado a ejecutar un plan.
- **Plan:** Los planes son secuencias de acciones (recetas o áreas de conocimiento) que el agente puede realizar para alcanzar una o varias de sus intenciones. Los planes pueden incluir otros planes: el plan para ir a la universidad puede incluir un plan para encontrar un medio de transporte. Ello refleja que en el modelo de Bratman los planes inicialmente sólo son parcialmente concebidos, y sus detalles se van estimando conforme el plan va progresando.
- **Eventos:** Son disparadores para la actividad reactiva del agente. Un evento puede actualizar las creencias del agente, disparar planes o modificar los objetivos. Los eventos pueden generarse externamente y ser recibidos por sensores o sistemas integrados al agente. Además los eventos pueden ser generados internamente para activar actualizaciones o planes de acción.

Intérprete BDI

A continuación se muestra el algoritmo de un intérprete BDI propuesto por Rao y Georgeff [25]:

```
1: initialize-state  
  
  repeat  
  
    2: options: option-generator(event-queue)  
  
    3: selected-options: deliberate(options)  
  
    4: update-intentions(selected-options)  
  
    5: execute()  
  
    6: get-new-external-events()  
  
    7: drop-unsuccessful-attitudes()  
  
    8: drop-impossible-attitudes()  
  
  end repeat
```

Éste algoritmo ha sido extendido en muchas maneras para soportar la planificación [29] y [30], automatizar el trabajo colaborativo [31] y mantenimiento de los objetivos [32].

A continuación se describen los pasos del algoritmo antes citado, cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 2.3:

- Paso 1: En la instrucción de inicialización el agente prepara sus creencias, objetivos y planes que se consideran como preliminares para su ejecución.
- Paso 2: En ésta instrucción se crea la lista de acciones o eventos que se consideran reelevantes para lograr el objetivo.
- Paso 3: En éste paso se hace la deliberación, es decir se decide que hacer (cuales planes son factibles).

- Paso 4: Se actualizan las intenciones, en base a la deliberación del paso anterior se procede a establecer un compromiso (intención) para lograr los objetivos y aquí empieza a elaborar una lista de planes (acciones) que requiere llevar a cabo para alcanzarlos.
- Paso 5: Aquí se ejecutan las acciones establecidas en el paso anterior. En esta parte el agente puede realizar acciones que afecten el ambiente, como desplazarse, o acciones internas como cambiar una creencia.
- Paso 6: Aquí el agente percibe los nuevos eventos del ambiente, con lo cual puede desencadenar una serie de cambios en sus creencias, intenciones y deseos. Por ejemplo aquí puede detectar situaciones del ambiente que en un futuro lo hagan decidir abortar un plan.
- Paso 7: Aquí el agente puede desechar planes que fracasaron para posteriormente establecer un nuevo plan.
- Paso 8: Aquí el agente desecha planes, los cuales son imposibles de llevar a cabo debido a que sus subplanes fracasaron.

2.4. Sistema de inferencia de lógica difusa

También denominado como razonamiento difuso, es definido como un procedimiento que deriva conclusiones a partir de un conjunto difuso, compuesto por reglas del tipo si-entonces (if-then); también conocidas como hechos [33]. Los sistemas de inferencia difusa se basan en los conceptos de teoría de conjuntos difusos, reglas si-entonces (if-then) y razonamiento difuso. Su incorporación como elemento de inteligencia que regula el comportamiento de agentes, quienes emulan ciertos aspectos del comportamiento de seres humanos, ha dado muy importantes resultados [34] [35].

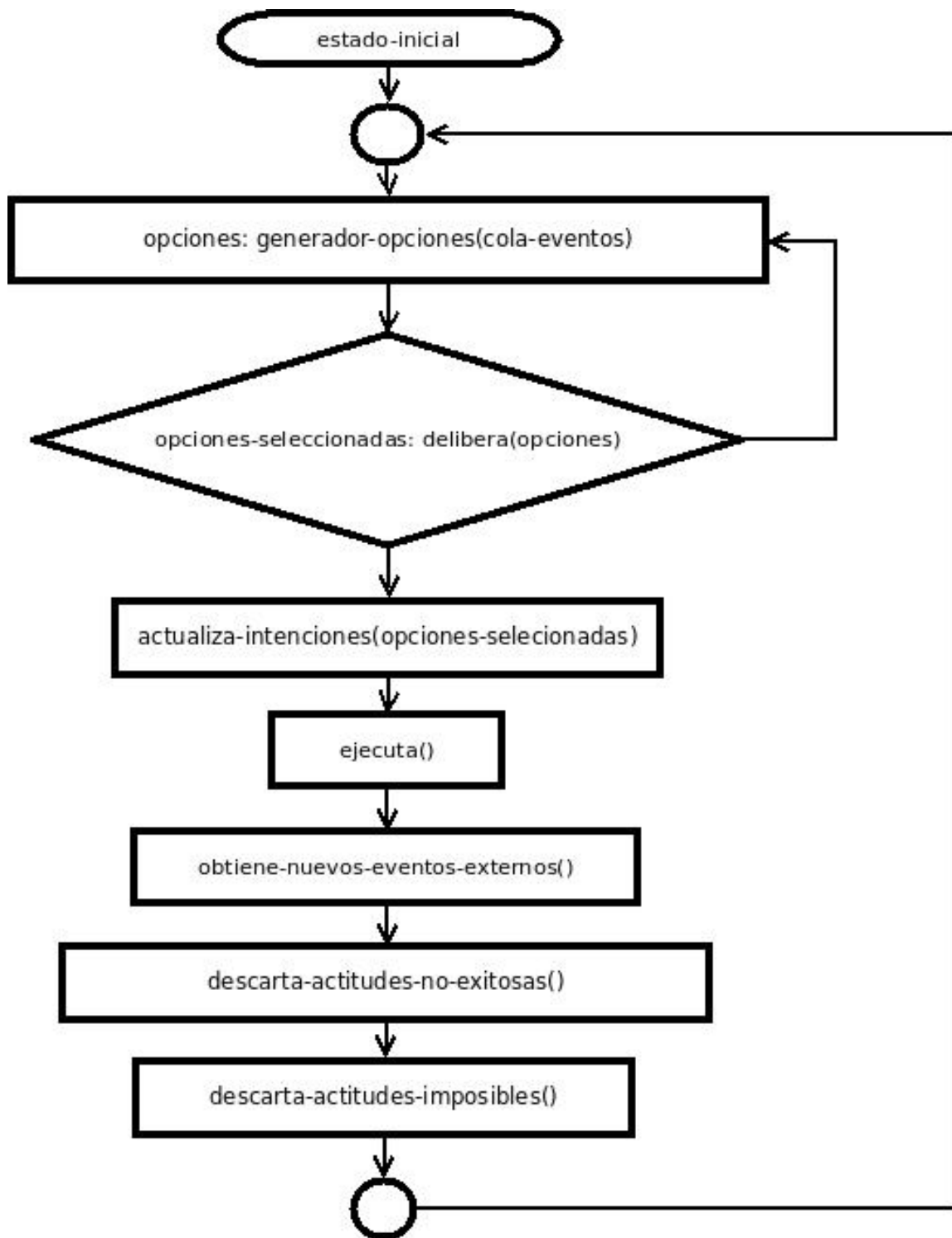


Figura 2.3: Diagrama de Flujo del Intérprete BDI

Con base en lo antes expuesto se puede decir que el proyecto propuesto en éste documento se centra principalmente en la convergencia de las siguientes áreas de estudio:

- Estudio del comportamiento humano (modelado y simulación).
- Modelado basado en agentes inteligentes.
- Mecanismos de inferencia basados en sistemas difusos.

En la siguiente sección se presentan ejemplos de trabajos relevantes, cuyas aportaciones permiten presentar los argumentos que sustentan la viabilidad del presente proyecto.

2.5. Trabajos relacionados

En diciembre de 2003 se realizó, en la ciudad de Washington DC, la Conferencia Internacional acerca del Envejecimiento, Discapacidad e Independencia (International Conference on Aging, Disability and Independence ICADI) [36].

ICADI representó un gran esfuerzo para crear una comunidad mundial interdisciplinaria conformada por investigadores y practicantes pertenecientes a diversos ámbitos de la ciencia, la ingeniería, rehabilitación y gerontología. Anteriormente, en junio de 2003, se efectuó un evento preparatorio llamado Pre-ICADI, en Londres, con la finalidad de prepararse para el ICADI y elaborar una perspectiva europea sobre el envejecimiento, discapacidad e independencia.

También se dice que el evento denominado Preparatory Workshop for ICADI tuvo como finalidad identificar y contabilizar los últimos avances sobre tecnología de asistencia y hogares inteligentes, tanto en Estados Unidos como en Europa, así como establecer estrategias para investigaciones y desarrollo futuro.

Dichos eventos obtuvieron el apoyo de diversas instituciones entre las cuales destacaron el Instituto Nacional de Investigación en Discapacidad y Rehabilitación (National Institute on Disability and Rehabilitation Research (NIDRR)), la Administración de Salud de los Veteranos (the Veterans Health Administration (DVA)), así como fundaciones y empresas privadas. Además por parte de Inglaterra recibieron apoyo del Departamento de Salud (Department of Health) y del Consejo de Investigación en Ciencias e Ingeniería (Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC)).

Los temas que más atención recibieron fueron: hogares inteligentes, interacción hombre computadora, teléfonos inteligentes, cómputo portátil, móvil e inalámbrico [36].

Por otra parte han habido esfuerzos orientados a brindar asistencia ubicua a personas con discapacidad mental, como es el caso de [37], quienes proponen una arquitectura general de socialware para asistir a las personas que padecen dicha discapacidad.

La arquitectura del socialware esta basada en un sistema multiagente que apoya a las redes de comunidades. Dicho sistema está compuesto de agentes personales y agentes que representan comunidades. Dichos agentes asisten las actividades sociales de las redes de comunidades:

- Uniendo a las personas
- Asistiendo en la comunicación
- Encontrando las relaciones entre las personas.

Esta arquitectura de cómputo simbiótico no solo auxilia en las redes de comunidades virtuales, sino también las actividades de las personas en el mundo real. Se dice que el socialware para personas con discapacidad mental debe tener las siguientes funciones:

- Asistir en las actividades personales: Los impedimentos cognitivos y las características

de su comportamiento son diferentes. Es necesario asistirlos previamente comprendiendo dichas características e identificando su intención. El agente personal tiene conocimiento acerca de su compañero y asiste sus actividades adecuadamente.

- Ayudar en las actividades de la comunidad: Asiste, directa o indirectamente, en las actividades que realiza la persona en su comunidad (virtual o real). Por ejemplo los miembros de la comunidad pueden asistir a la persona discapacitada como herramienta de comunicación. El agente de la comunidad puede encontrar a la persona apropiada que tiene la habilidad de asistirle. La comunidad puede construir conocimiento y contenidos para asistir a las personas discapacitadas, esa sería una asistencia indirecta. El apoyo en la comunidad es indispensable para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad mental.
- Resolver la brecha de la comunicación: debido a la diversidad cognitiva pueden surgir mal-entendidos en la comunicación. Los agentes de la comunicación son responsables de resolver la brecha de la comunicación traduciendo y compensando los contenidos.

Como complemento al socialware y para facilitar la movilidad de las personas con discapacidad mental [37] propone un sistema de navegación con fotografías, el cual está dirigido a personas que padecen demencia, quienes tienen dificultades para moverse en la ciudad debido a la disminución de su memoria y bajas habilidades espaciales, como lo es el sentido de ubicación, es decir la capacidad de comprender que se está en una ubicación aproximada y poder reconocer un paisaje durante el recorrido. Por ese motivo los mapas no son de mucha ayuda para las personas con este tipo de discapacidad. El sistema de navegación peatonal muestra (en un dispositivo móvil) fotografías durante el recorrido, con ciertos intervalos de tiempo. Los usuarios siguen las escenas desplegadas y alcanzan una posición particular, y luego presionan un botón para avanzar a la siguiente instrucción y recibir una fotografía de un nuevo paisaje o ubicación que seguir. El sistema muestra flechas en las esquinas y

efectivamente usa fotografías para informar a los usuarios sobre el recorrido.

Una herramienta de generación de contenidos busca la ruta óptima a partir de el punto de inicio hasta el punto destino y carga las fotos en la ruta, agrega efectos visuales y manda los contenidos al dispositivo móvil del paciente.

En pruebas se demostró que tanto socialware como el asistente de navegación pedestre, permiten que las personas discapacitadas mentalmente puedan desenvolverse mas autónomamente tanto al comunicarse con otras personas como al desplazarse por la ciudad.

Proyectos como The ASK-IT IP (Ambient Intelligence System of Agents for Knowledge-Based and Integrated Services for Mobility-Impaired Users Integrated Project) proponen una arquitectura basada en agentes para proveer de asistencia ubicua a los usuarios con discapacidad motora. Adicionalmente sugieren utilizar inteligencia ambiental para facilitar el desplazamiento de personas con discapacidad motriz [5].

En el trabajo de [6] se observa que es posible utilizar sistemas multi-agentes para modelar y simular el comportamiento de los seres humanos en un centro comercial, donde hacen énfasis en la distribución de los espacios físicos y los intereses de cada individuo para navegar dentro del centro comercial.

Algunos avances importantes se han dado en relación al diagnóstico y clasificación de discapacidades, con la finalidad de mejorar la accesibilidad de ciertos servicios, tal es el caso de proyectos como el que se presenta en [38] donde estudian las anormalidades del sistema visual humano y desarrollan herramientas computacionales para adaptar las interfaces hombre-máquina, gracias a lo cual proveen la inclusión de individuos con discapacidad visual para distinguir colores en el uso de entornos gráficos creando así soluciones más accesibles.

También algunos trabajos muestran avances en el modelado de la percepción de la accesibilidad por parte de los individuos [39], donde utilizan lógica difusa para el análisis micro-espacial de los patrones de desplazamiento de los individuos, así como la duración de los

mismos, a la vez que consideran las actividades diversas de los individuos, y su disposición para desplazarse, y gracias a ello es posible medir los índices de accesibilidad.

Capítulo 3

Simulación basada en agentes

3.1. Modelo de agente BDI

La arquitectura BDI (Beliefs-Desires-Intentions) es una de las arquitecturas de agentes cognitivos más estudiada. AgentSpeak, en particular, es uno de los lenguajes más conocidos en el área de lenguajes de programación orientados a agentes, dicho lenguaje está basado en la arquitectura BDI.

AgentSpeak(L) es un lenguaje abstracto de programación orientada a agentes, que se caracteriza por estar basado en lógica. Dicho lenguaje fue introducido por Rao [43] y posteriormente fue extendido y formalizado por Wooldridge, Bordini, Hübner [11] y varios colegas.

Los agentes BDI prácticos son implementados como sistemas reactivos planificadores: ellos se ejecutan continuamente, reaccionando a los eventos (por ejemplo a cambios percibidos en el ambiente que los rodea) mediante la ejecución de planes suministrados por el programador. Los planes son secuencias de acciones que los agentes se comprometen a llevar a cabo para poder alcanzar sus objetivos. El comportamiento proactivo de los agentes es exhibido mediante el concepto conocido como “objetivos” (estados deseados del mundo) que también

forman parte del lenguaje mediante el cual se escriben los planes.

Con la finalidad de delimitar la utilización de agentes BDI en el trabajo aquí presentado, se establece la definición formal de un agente, el cual se denota con α y se describe mediante la tupla siguiente:

$$\alpha = \langle \Phi, \Delta, \Xi \rangle \quad (3.1)$$

Donde:

Φ = conjunto finito de sensores

Δ = conjunto finito de actuadores

Ξ = es una máquina deliberativa que representa la inteligencia que define el comportamiento del agente. Puede ser especificada de muchas maneras dependiendo de la complejidad inherente a la características del agente que se quiera describir. Por ejemplo puede ser mediante una máquina de estados finitos, un conjunto de reglas de decisión, etc.

Tomando como punto de partida la definición establecida en 3.1, se puede establecer a partir de ella la definición formal para un agente BDI, mediante la definición de la propiedad Ξ .

Así pues, Ξ formalmente puede definirse como la siguiente tupla de 4 elementos:

$$\Xi = \langle \Lambda, \Gamma, \Pi, \beta \rangle \quad (3.2)$$

Tales elementos se describen a continuación:

Λ = conjunto finito de reglas de decisión que implementan la inteligencia del agente

Γ = conjunto finito de objetivos (deseos)

Π = conjunto finito de planes (intenciones)

β = conjunto finito de creencias

Donde Λ es la función transformadora que recibe como entrada las creencias (β) y los deseos (Γ) para producir la salida Π (conjunto de planes), se describe Π como:

$$\Pi = \Lambda \bowtie (\beta + \Gamma) \quad (3.3)$$

Finalmente se debe observar que Λ también tiene un rol clave en la construcción de creencias, lo cual será discutido en la siguiente sección.

3.2. Modelo de agente BDI con percepciones difusas

Para efectos del presente trabajo se entiende como percepción incompleta a la habilidad de recolectar datos que describen un hecho con cierto grado de certidumbre, es decir implícito en dicha percepción también hay un cierto grado de incertidumbre, por ejemplo cuando una persona hace la parada a un camión para abordarlo, lo hace porque percibe que hay cupo para ella quizá porque ve pocas personas abordo, pero no está completamente (100 %) segura de que hay cupo. Así pues, esos datos recolectados pueden ser evaluados y transformados en creencias, para el caso del ejemplo anterior la persona tiene la percepción de que hay espacios vacíos en el camión por lo cual se formuló la creencia de que hay cupo.

El concepto de creencia, empleado en el presente trabajo, se basa en la idea filosófica de que una “creencia” implica cierto conocimiento previo del mundo y la habilidad para observar (sensar) el ambiente [11, 24].

Cabe mencionar que, de acuerdo a los autores [11, 24], los agentes BDI pueden obtener

sus creencias a partir de dos fuentes:

- A partir de una creencia que es recibida de otro agente por medio de un mensaje, parte de un proceso de comunicación.
- A partir de las percepciones propias del agente, las cuales fueron evaluadas mediante un proceso interno del agente.

La primera fuente de obtención de creencias ha sido claramente definida y resuelta por [11], pero la segunda fuente se ha dejado parcialmente definida y la han dejado abierta para que cada investigador la resuelva a conveniencia.

Para efectos del presente trabajo, resulta imperativo definir la segunda fuente de obtención de creencias, especialmente si se trata de definir agentes BDI capaces de emular el comportamiento humano; por lo que el resto del presente capítulo se centra en establecer un método para la construcción de creencias en los agentes BDI [45, 46].

Dependiendo de las circunstancias y de la precisión de los sensores, una percepción puede que no siempre resulte en una creencia confiable, pero es un prerequisite para tenerla. La falta de o el poco conocimiento previo del mundo, así como la habilidad reducida para observar el ambiente pueden implicar una “creencia falsa”.

Se puede pensar que es irracional comprometerse con un objetivo si no se tiene la habilidad para evaluar percepciones incompletas o parcialmente ciertas y convertirlas en creencias confiables. Lo anterior es un poco distinto a la noción de creencia explorada por Jing [26] y usada más recientemente por Sernani [27], donde las “creencias” son construidas a partir de percepciones, y todas las percepciones registradas por los sensores son precisas al 100 %, omitiendo cualquier posibilidad de la ocurrencia de percepciones con cierto grado de error, así como su tratamiento para la construcción de creencias.

Es muy poco probable encontrar casos prácticos donde se tienen agentes BDI que habitan

en mundos complejos y dinámicos, quienes a su vez realizan sus operaciones sobre la base de percepciones nítidas (es decir libres de toda vaguedad). Por el contrario, es común encontrar problemas donde pueden aparecer percepciones vagas y los agentes BDI tendrían que lidiar con ellas para construir sus creencias y actuar en consecuencia.

Suena más razonable adoptar una creencia si ésta fue construida a partir de la evaluación de percepciones vagas utilizando el conocimiento previo del mundo (experiencia); razonablemente no se requiere que las percepciones sean 100 % precisas para construir una creencia.

Con base en lo antes mencionado ahora surgen las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se pueden representar las percepciones imprecisas en un agente BDI?
- ¿Cómo se pueden construir creencias a partir de percepciones imprecisas en un agente BDI?

La primera pregunta se responde mediante el uso de lógica difusa ya que debido a la naturaleza de ésta teoría (la cual se describe en la sección 2.4) y tal como lo demuestra Mendel [35], es muy fácil representar información imprecisa mediante las funciones de membresía.

La segunda pregunta se responde mediante el desarrollo de una metodología que permite utilizar la representación de percepciones difusas (la respuesta de la primera pregunta) dentro de un entorno de ejecución de agentes BDI. Así pues, en la siguiente sección se presenta una alternativa para dar respuesta a la segunda pregunta.

3.2.1. Definición de percepciones difusas en un agente BDI

Retomando la problemática relacionada con la representación de percepciones imprecisas dentro de un agente BDI, primero se tuvo que establecer la definición formal para un agente BDI con percepciones imprecisas (difusas), la cual se explica a continuación.

Cada sensor del conjunto de sensores ($\phi \in \Phi$, ver Ecuación 3.1) puede percibir un conjunto finito de señales (σ), donde cada señal puede ser descrita mediante un conjunto finito de funciones de membresía difusas. Es decir:

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}, \text{ donde } |\Phi| = n \quad (3.4)$$

$$\phi_i = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m\} \forall i = 1, 2, \dots, n, \text{ donde } |\phi_i| = m \quad (3.5)$$

$$\sigma_j = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_o\} \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

Como se menciona en la Ecuación 3.2, todo agente BDI posee un conjunto finito de creencias denotadas por β . La definición formal de β es la siguiente:

$$\beta = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_p\}, \text{ donde } |\beta| = p \quad (3.7)$$

$$\delta_k = \Lambda \bowtie (\sigma_j + \Sigma) \forall j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, p \quad (3.8)$$

Se puede observar en la ecuación 3.8, que cada creencia perteneciente al conjunto finito de creencias ($\delta \in \beta$) es construida por el elemento inteligente del agente (Λ), el cual hace una inferencia, aplicando un conjunto de reglas (Σ), sobre el conjunto de señales descritas por funciones de membresía difusas (ver Ecuación 3.6).

3.2.2. Metodología para la construcción de creencias

Como ya se ha mencionado, la teoría de agentes BDI no establece un mecanismo para construir las creencias, por lo que muchas implementaciones de la arquitectura BDI simplemente transforman en creencias la información recolectada por sus sensores [26], [27] y [38].

Sin embargo, dicho método de construcción de creencias no es viable en escenarios donde los agentes tratan de simular el comportamiento humano.

Una contribución del presente trabajo, para resolver el problema de construcción de creencias a partir de percepciones imprecisas, es el Modelo de Construcción de Creencias (MCC) para agentes BDI, el cual se describe a continuación y se muestra en la Figura 3.1.

El MCC recibe la información sensorial, que fue captada por los sensores del agente; dicha información es convertida de tal manera que se puede representar de manera difusa, para luego ser alimentada a un sistema de inferencia difuso, el cual toma dicha información y la somete a un proceso de inferencia, para lo cual extrae la información que el agente posee acerca del entorno. Cabe señalar que dicha información es la que permite a los agentes interpretar las percepciones.

Así pues, como resultado de la inferencia se obtiene la información acerca de las creencias, que es pasada al proceso de registro de creencias (PRC) dicho proceso se encarga de convertir la información recibida en creencias, las cuales son registradas en la base de creencias del agente.

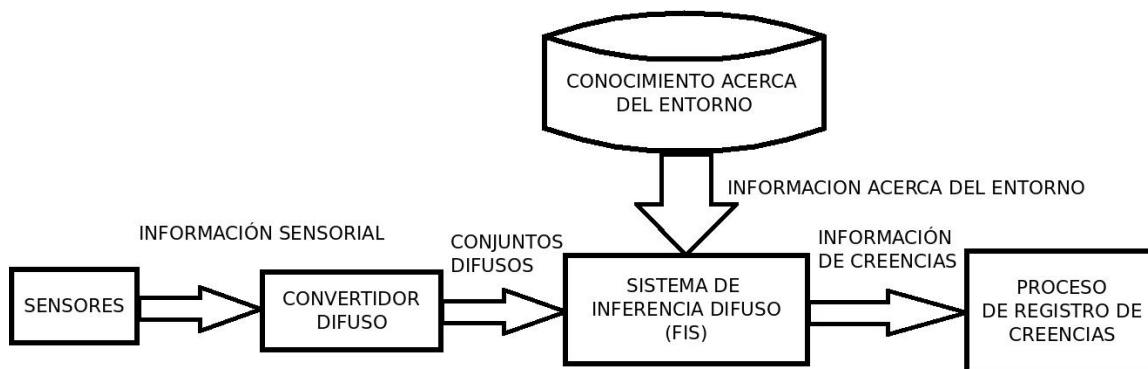


Figura 3.1: Modelo de Construcción de Creencias.

La implementación del modelo de construcción de creencias fue hecha parte en java y parte en el lenguaje AgentSpeak, el cual es uno de los lenguajes más coocidos que está basado en la arquitectura BDI.

AgentSpeak es un lenguaje orientado a agentes basado en lógica que fue introducido por Rao [43]. En éste lenguaje los agentes BDI son implementados como sistemas reactivos planificadores, tales sistemas se ejecutan continuamente reaccionando a los eventos y ejecutando los planes.

La ejecución de los agentes BDI es realizada dentro de un entorno llamado Jason [11], donde los agentes se ejecutan permanentemente dentro de lo que se conoce como el ciclo de razonamiento de Jason. Los agentes BDI en el entorno de Jason constantemente están percibiendo el ambiente, razonando acerca de cómo actuar para alcanzar sus objetivos, para después actuar y modificar el ambiente.

Bordini et al. [11] proponen el algoritmo para el ciclo de razonamiento de Jason, mismo que se ha utilizado como referencia para proponer un algoritmo extendido (Ver Algoritmo 1), que se ha diseñado de tal manera que permite incorporar la capacidad de procesar percepciones difusas en los agentes BDI, para construir sus creencias a partir de dichas percepciones; todo ello sin alterar el resto de la lógica de ejecución del ciclo de razonamiento.

Como se puede apreciar en la línea 3 del Algoritmo 1, se introdujo la variable K , la cual representa el conocimiento que necesita el agente para procesar las señales de entrada. En las líneas 6 y 17 se ejecutan las actividades de percepción, mientras que en las líneas 7 y 18 se realiza el procesamiento de las señales percibidas anteriormente, para construir las creencias mediante el Proceso de Construcción de Creencias (PCC), cuyo algoritmo puede apreciarse en el Algoritmo 2.

3.3. Arquitectura general del simulador

La arquitectura general del simulador se puede apreciar en la Figura 3.2, en la cual intervienen principalmente un elemento de almacenamiento y tres tipos de agentes: Agente

Algoritmo 1 Algoritmo extendido para el ciclo de razonamiento de agentes BDI [45].

```

1:  $B \leftarrow B_0$ ; /*  $B_0$  son las creencias iniciales */
2:  $I \leftarrow I_0$ ; /*  $I_0$  son las intenciones iniciales */
3:  $K \leftarrow K_0$ ; /*  $K_0$  es la base de conocimiento del entorno */
4: mientras VERDADERO hacer
5:   obtiene señales de entrada de los sensores;
6:    $B' \leftarrow PCC(\text{señales})$ ;
7:    $B \leftarrow bnf(B', \text{señales})$ ;
8:    $D \leftarrow opciones(B, I)$ ;
9:    $I \leftarrow filtra(B, D, I)$ ;
10:   $\Pi \leftarrow plan(B, I, Ac)$  /*  $Ac$  es el conjunto de acciones */
11:  mientras NO((VACIO( $\Pi$ ) o exito( $I, B$ ) o imposible( $I, B$ ))) hacer
12:     $\pi_0 \leftarrow primer\ elemento\ de\ \Pi$ ;
13:    ejecuta( $\pi_0$ );
14:     $\Pi \leftarrow cola\ de\ \Pi$ ;
15:    obtiene señales de entrada de los sensores;
16:     $B' \leftarrow PCC(\text{señales})$ ;
17:     $B \leftarrow bnf(B', \text{señales})$ ;
18:    si reconsidera( $I, B$ ) entonces
19:       $D \leftarrow opciones(B, I)$ ;
20:       $I \leftarrow filtra(B, D, I)$ ;
21:    fin si
22:    si NO viable( $\Pi, I, B$ ) entonces
23:       $\Pi \leftarrow plan(B, I, Ac)$ 
24:    fin si
25:  fin mientras
26: fin mientras

```

Algoritmo 2 Algoritmo del proceso de construcción de creencias PCC [45].

```

1:  $F \leftarrow fusifica(\text{señales})$ ;
2:  $B' \leftarrow FIS(F, K)$ ;
3:  $B \leftarrow PRC(B')$ ;
4: regresa( $B$ );

```

ambiente, agente individuo y agente elemento del ambiente. La descripción de los agentes antes mencionados es la siguiente:

- Agente ambiente: Éste agente se encarga de crear el escenario virtual donde van a existir los demás agentes, para lo cual recupera de la base de datos la información que describe como estará compuesto el escenario, además registra en todo momento los cambios que existan en dicho escenario. Otra actividad importante de éste agente es proveer información del ambiente (lo que pueden sentir) de acuerdo a la ubicación que tengan en cada instante, además registra los cambios en el ambiente ocasionados por los demás agentes como producto de sus acciones sobre el mismo, por ejemplo cuando un agente se desplaza de un lugar a otro.
- Agente individuo: Éstos agentes tienen la capacidad de percibir el ambiente y actuar sobre él simulando algunos aspectos del comportamiento humano, principalmente las funciones relacionadas con la percepción del ambiente. Éstos agentes interactúan con el ambiente cuando perciben y actúan sobre él cuando se desplazan. Además pueden interactuar con otros elementos del ambiente, los cuales debe percibir en cierta medida y con los cuales intercambia información sobre su ubicación y desplazamiento. Por último éste agente almacena en la base de datos información relacionada con su interacción con el ambiente como lo son: las rutas que siguió, colisiones que tuvo, cambios de ruta que tuvo que hacer, objetos percibidos, errores de percepción, obstáculos detectados y las adecuaciones accesibles que utilizó mientras deambulaba por el ambiente. Ésta información servirá para analizar el comportamiento de los agentes.
- Agente elemento del ambiente: Éstos agentes existen en el ambiente y tienen diversas propiedades físicas, como dimensiones, espacio que ocupan y su desplazamiento. Su principal finalidad es simular el comportamiento de ciertos elementos reales que rodean el ambiente real de los humanos cuando se desplazan en un espacio. Adicionalmente

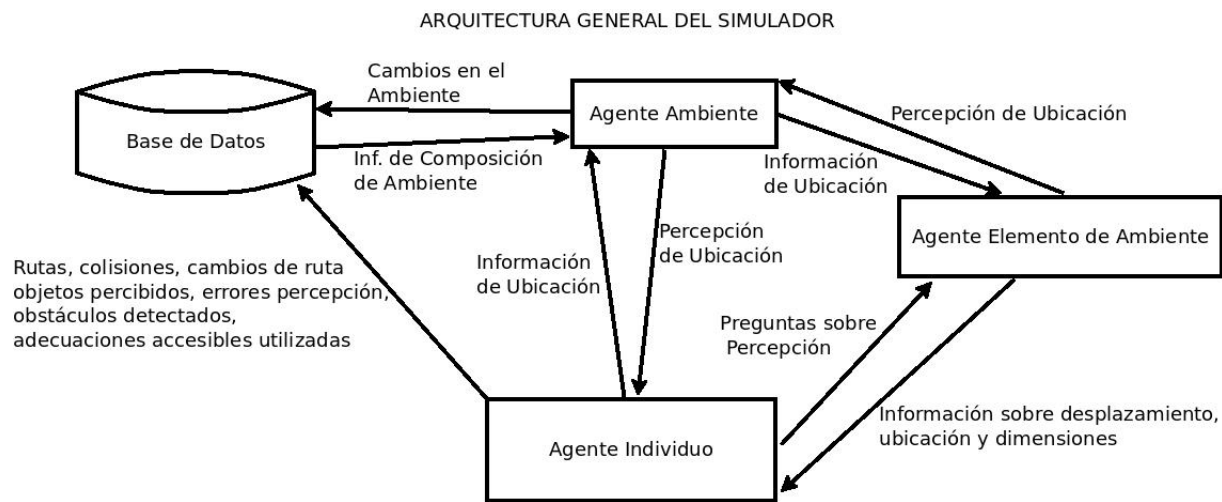


Figura 3.2: Modelo de la Arquitectura General del Simulador

estos agentes pueden comunicarse con los agentes individuo y agente ambiente para intercambiar información sobre sus propiedades que pudieran ser percibidas.

3.3.1. ¿Por qué BDI?

Como se menciona en las secciones 2.3.1 y 2.3.2, respectivamente, SOAR y ACT-R se concentran en los mecanismos internos del cerebro durante el procesamiento de información incluyendo tareas como el razonamiento, la planificación, solución de problemas y aprendizaje. Consecuentemente estos modelos fácilmente pueden crecer en complejidad debido a que su fortaleza está en el detallar cada elemento que interviene en la actividad del cuerpo humano. Si a lo anterior agregamos el hecho de que aún no se ha podido descifrar con exactitud el funcionamiento del cerebro, las arquitecturas antes mencionadas se vuelven útiles en la modelación de aspectos muy específicos de la actividad humana y bastante complejas para modelar el comportamiento humano, principalmente debido a que éste último involucra demasiadas áreas del cerebro humano.

En cambio los conceptos teóricos que sustentan el paradigma BDI, están basados en la

psicología tradicional, más que en la neurociencia, por lo cual permiten utilizar un lenguaje de programación para describir el razonamiento humano y sus acciones en la vida cotidiana desde un enfoque más conductual que psicológico [42].

Debido a ésta representación directa, se puede extraer el comportamiento humano y plasmarlo fácilmente dentro del marco de referencia del paradigma BDI. Adicionalmente el paradigma BDI se ha aplicado exitosamente en diversos sistemas de software de mediana y gran escala incluyendo sistemas de gestión del tráfico aéreo y simulaciones sobre de la toma de decisiones de los humanos.

3.3.2. Arquitectura de agente BDI individuo

La arquitectura del agente BDI, denominado Agente individuo en la sección 3.3, se muestra en la Figura 3.3.

Dicho agente que se ha diseñado para simular el comportamiento peatonal de humanos y está compuesto por cuatro módulos principales:

- Deseos
- Intenciones
- Preferencias
- Creencias

A continuación se describe cada uno de los módulos que conforman el agente individuo.

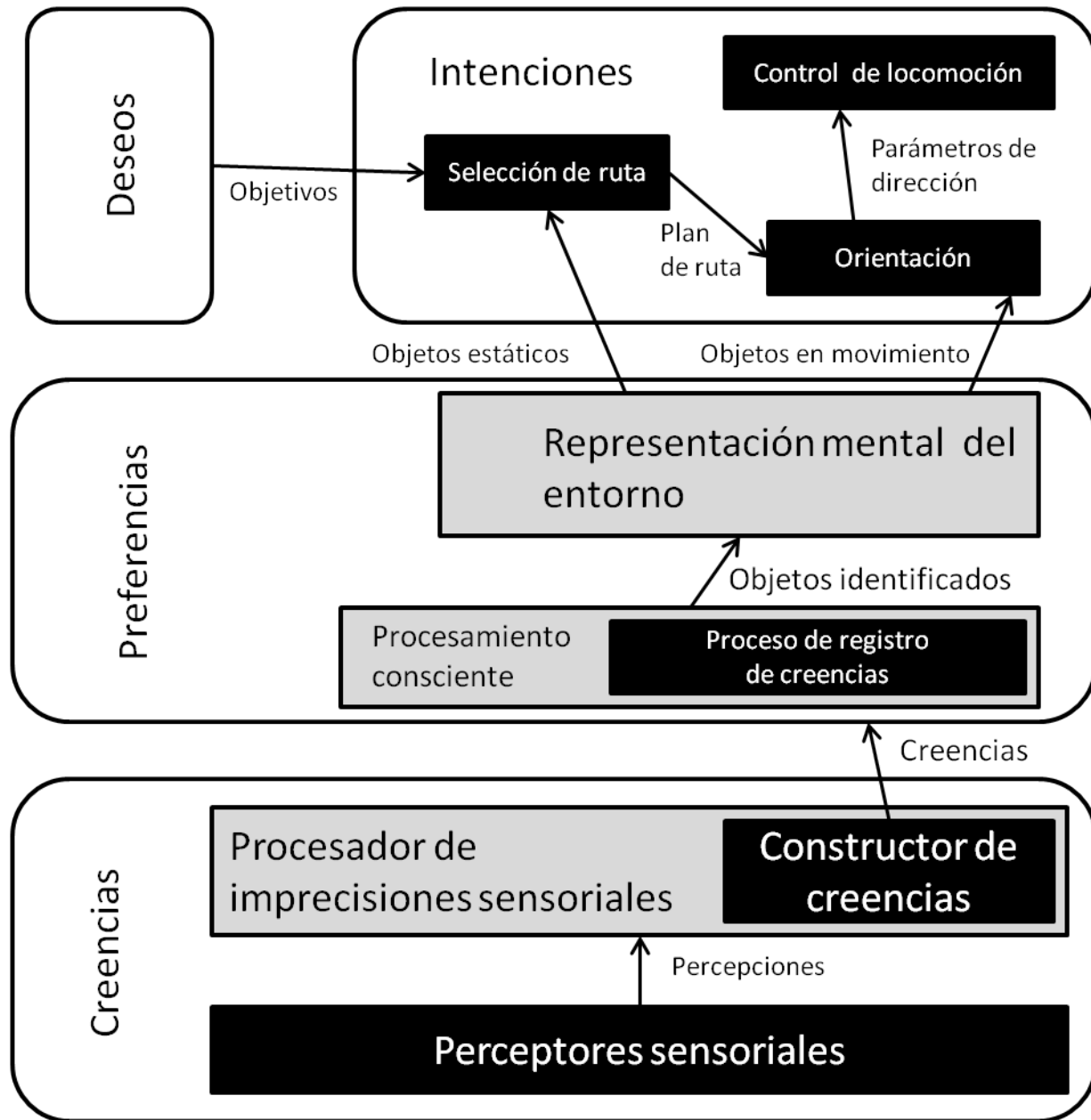


Figura 3.3: Modelo de la arquitectura del agente individuo

Deseos

En ésta parte se establecen los objetivos de agente, como puede ser el ir del punto A al punto B. Dichos objetivos son transmitidos al módulo de intenciones.

Intenciones

Éste módulo se encarga de la parte deliberativa del agente cuya finalidad es establecer los planes y las acciones necesarias para lograr los objetivos, para lo cual está compuesto de los siguientes elementos:

- Selección de ruta: Se encarga de seleccionar de todas las rutas posibles cual es la que va a seguir para lograr el objetivo, pasando el resultado de su deliberación (puntos de paso) al elemento denominado orientación.
- Orientación: La finalidad de éste elemento es calcular la orientación adecuada para que el agente pueda acercarse al objetivo, para lo cual produce información (parámetros de dirección) que es suministrada al elemento de control de locomoción.
- Control de locomoción: Su finalidad es ejecutar las acciones de desplazamiento (acciones sobre el ambiente) que permitan al agente desplazarse hacia su objetivo.

Preferencias

En éste módulo se realizan las actividades mentales relacionadas con la ubicación consciente del individuo en el ambiente que lo rodea. Además se establecen parámetros asociados con las preferencias para su desplazamiento.

Lo componen dos elementos principales:

- Representación mental del entorno: En éste elemento se llevan a cabo actividades internas relacionadas con la conformación y el mantenimiento de un mapa mental sobre la composición del ambiente que rodea al agente. Para lo cual se subdivide su funcionamiento en dos sub-componentes:
 - a) Memoria sensorial: Por un lado recibe información sobre los objetos identificados por el elemento denominado sistema de procesamiento consciente y forma un mapa mental donde identifica dos tipos de objetos los estáticos y los objetos en movimiento. Con la información de los objetos estáticos calcula la posición relativa y transmite dicha información al componente llamado estimación de preferencias. En cambio con la información de los objetos en movimiento debido a su naturaleza dinámica pasa su información al elemento llamado cómputo de orientación del módulo de intenciones.
 - b) Estimación de preferencias: En ésta fase se establecen las preferencias de desplazamiento del agente, las cuales son relacionadas a los medios de desplazamiento percibidos. Éstos mapas y los objetos que memoriza los pasa al elemento llamado selección de ruta, para que haga las consideraciones pertinentes y ajuste los planes según lo requiera.
- Procesamiento consciente: En éste componente se recibe, del módulo de creencias, la información sobre los elementos percibidos en el entorno del agente y realiza los procesos mentales para identificarlos. Es decir recibe información sobre los objetos percibidos y mediante un proceso de raciocinio produce información más precisa sobre dichos objetos, la cual denominamos objetos identificados y es suministrada al elemento de representación mental. También es aquí donde el agente organiza sus creencias.

Creencias

Su función principal es percibir el ambiente que rodea al individuo y transmitir sus percepciones al módulo de preferencias. Está conformado por dos elementos:

- **Perceptores sensoriales:** Aquí principalmente se encuentran los sensores que perciben el entorno del agente. Convierten las señales percibidas en el ambiente en información de percepciones, la cual transmite al elemento llamado procesador de imprecisiones sensoriales.
- **Procesador de imprecisiones sensoriales:** Éste elemento recibe las percepciones de los sentidos, que residen en el elemento de perceptores sensoriales; y estima con cierto grado de incertidumbre a que tipo de objetos corresponde esa información, dando como resultado la construcción de las creencias correspondientes a los objetos percibidos, que a su vez son transmitidas al componente llamado procesamiento consciente del módulo de preferencias, para que haga los ajustes necesarios para la navegación.

Capítulo 4

Casos de estudio

En este capítulo se presentan los casos de estudio realizados con la finalidad de probar que es viable implementar las propuestas descritas en el Capítulo 3, gracias a lo cual es posible demostrar que se pueden alcanzar los objetivos de la investigación descritos en el Capítulo 1 del presente documento.

4.1. Caso 1: Agente regulador de temperatura del agua

El caso de estudio aquí descrito fue diseñado con el propósito de probar el modelo de agente BDI con percepciones difusas propuesto en la sección 3.2, cuya implementación constituye la alternativa para alcanzar los objetivos planteados en el Capítulo 1 de éste trabajo de investigación.

En particular contribuye a alcanzar los mencionados objetivos mediante la demostración de los siguientes puntos:

- Es posible implementar el modelo descrito en la sección 3.2.

- Es posible crear un agente que pueda procesar percepciones difusas.
- Es posible simular como los humanos perciben, crean sus creencias y reaccionan.

4.1.1. Descripción del caso

El presente caso consiste de un agente BDI con percepciones difusas, el cual tiene que realizar la tarea de preparar el baño para una persona; por lo tanto el objetivo del agente es obtener la temperatura del agua ideal para que una persona pueda bañarse.

Como ya se ha mencionado antes (en el Capítulo 3), el agente necesita tener el conocimiento necesario para distinguir entre agua fría, tibia y caliente, para lo cual se ha inicializado su base de conocimientos (la variable K en el Algoritmo 1 ó Σ de acuerdo a la Ecuación 3.8) con las funciones de membresía descritas por la Figura 4.1. Se utilizó la escala de temperatura en grados Fahrenheit para asignar las propiedades de las funciones de membresía, cuyos rangos y distribución de valores corresponden a los rangos de temperatura del agua que las personas consideran como fría, tibia y caliente.

La implementación del algoritmo encargado de manipular la información difusa fue desarrollada en Java y se utilizó la biblioteca JT2FIS desarrollada por Castañón et. al. [44], quienes son investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California. Mientras que el resto del código que implementa la lógica de razonamiento del agente BDI fue implementada en AgentSpeak. En resumen, se extendió la arquitectura BDI, la cual está implementada en AgentSpeak, mediante una interfaz con el código del algoritmo extendido, el cual fue desarrollado en Java.

Adicionalmente se ha especificado el agente en función de sus creencias (β), deseos (Γ) e intenciones (Π) como lo muestra la Tabla 4.1.

El agente fue diseñado para interactuar con tres entidades: llave de agua fría, llave de

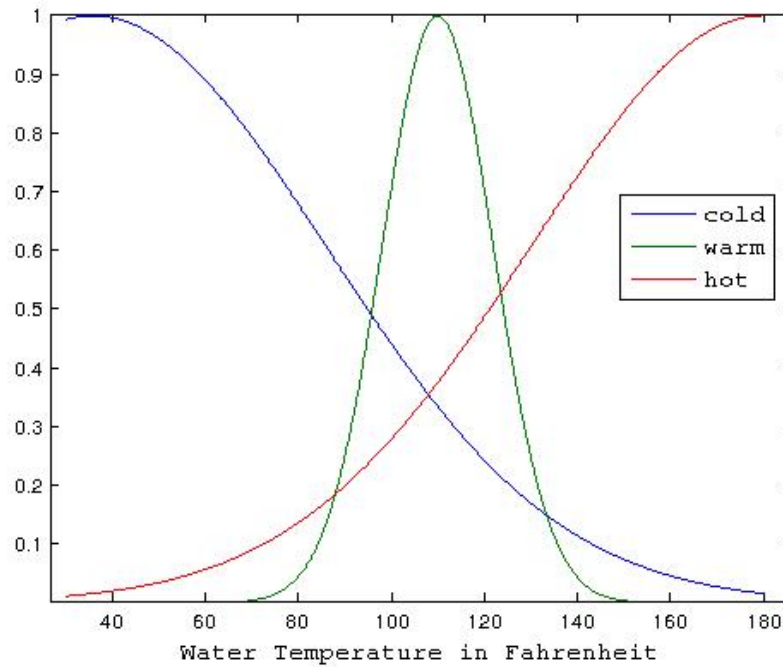


Figura 4.1: Base de conocimientos para el agente. Indicando los valores lingüísticos correspondientes para una escala de temperatura en grados Fahrenheit

Tabla 4.1: Descripción de las creencias, deseos e intenciones del agente

<i>Creencias(Beliefs)</i>	Caliente(agua) (“Hot(water)”), Fría(agua) (“Cold(water)”), Tibia(agua) (“Warm(water)”)
<i>Deseos(Desires)</i>	Obtener agua con la temperatura Tibia (“Warm(water)”)
<i>Intenciones(Intentions)</i>	Abrir llave de agua fría, Abrir llave de agua caliente

agua caliente y flujo de agua. Cuando el agente inicia lo primero que hace es abrir la llave del agua caliente y empieza a percibir la temperatura de la misma, tratando de encontrar la temperatura ideal mediante la combinación de agua fría y agua caliente. En la Figura 4.2 se muestra la secuencia que exhibe la dinámica del agente persiguiendo su objetivo de regular la temperatura del agua.

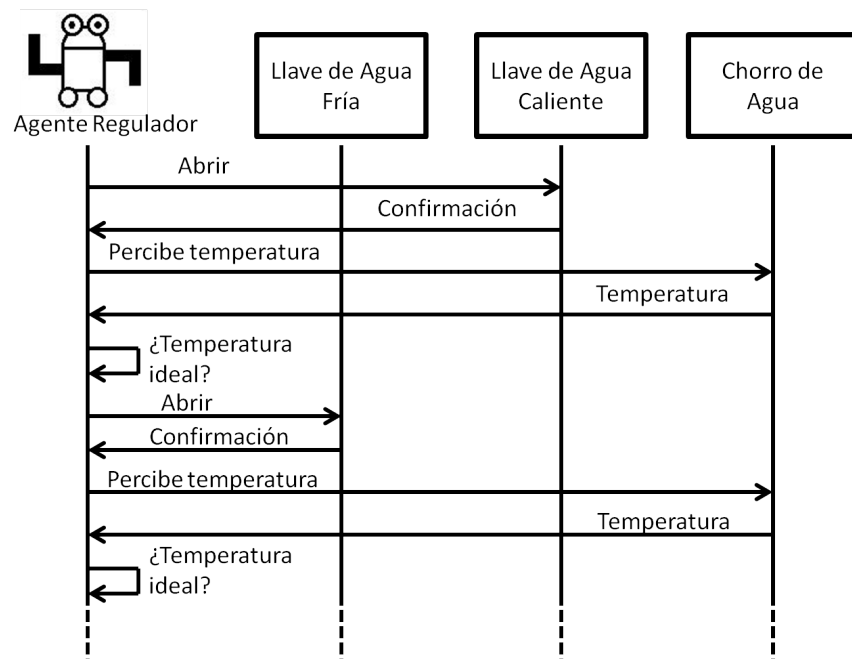


Figura 4.2: Diagrama de secuencia para el agente

4.1.2. Resultados

El agente fue ejecutado dentro del ambiente de ejecución de Jason, con la finalidad de demostrar que el algoritmo extendido propuesto permite dotar a los agentes BDI de la capacidad de procesar percepciones difusas para construir sus creencias.

También se debe recordar que debido a que fue necesario extender el algoritmo del ciclo de razonamiento de los agentes, es importante demostrar que tal modificación no afecta de manera negativa a la lógica de ejecución de los agentes dentro del entorno de Jason.

Adicionalmente se utilizó la herramienta de depuración de Jason denominada “Mind Inspector”, la cual permite observar los estados mentales de los agentes BDI durante su ciclo de vida. Así pues, en el resto de la presente sección se describe la ejecución de agente y se muestran sus estados mentales, los cuales fueron tomados mediante capturas de pantalla de la herramienta “Mind Inspector”.

La primera actividad que realiza el agente cuando se activa es la de establecer sus ob-

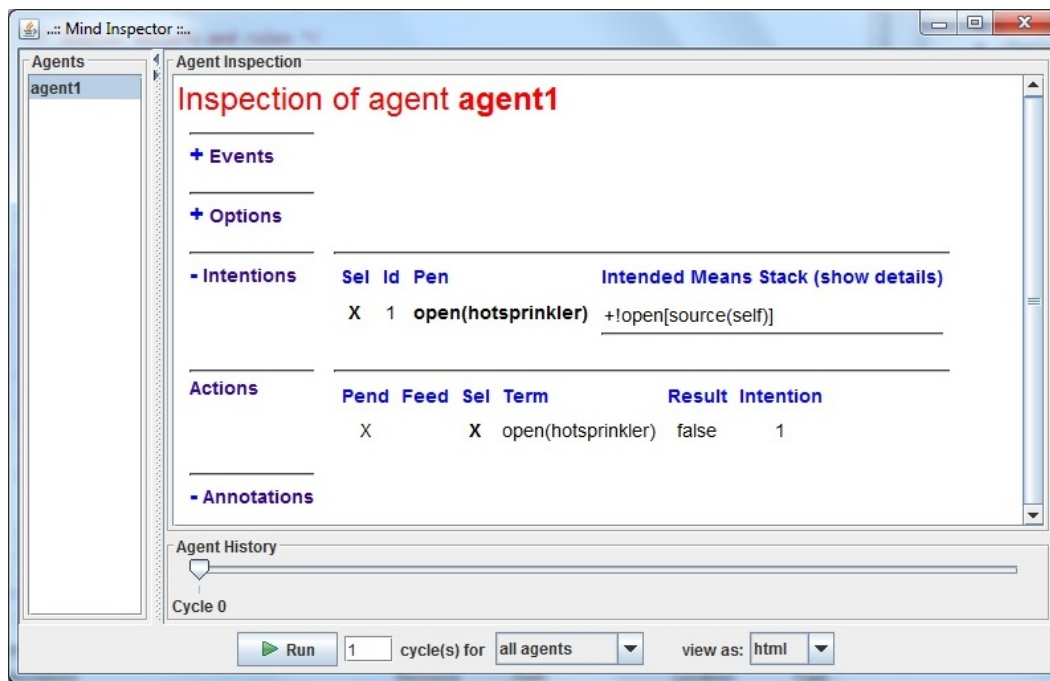


Figura 4.3: Mind Inspector de Jason mostrando la intención del agente

jetivos; posteriormente empieza a elaborar un plan (intenciones) para alcanzar los objetivos (deseos) previamente establecidos.

En la Figura 4.3 se puede apreciar el estado mental del agente, mostrando su intención actual para abrir la llave del agua caliente, tal como se lee (open(hotsprinkler) en la sección “intentions” de la ventana de “Mind Inspector”.

Después de que el agente ha abierto la llave del agua caliente, realiza la actividad de percibir la temperatura del agua y formula sus creencias correspondientes. Lo anterior puede apreciarse en la sección “Beliefs” de la Figura 4.4, donde se muestra que el agente ha construido la creencia (“caliente(agua)”) “hot(water)”, como respuesta a su percepción de una temperatura del agua que (de acuerdo a su conocimiento) se clasifica como caliente. También, en la misma figura, puede apreciarse la leyenda “source(percept)” justo al lado de la creencia, indicando que se trata de una creencia que es producto del procesamiento de las percepciones del mismo agente.

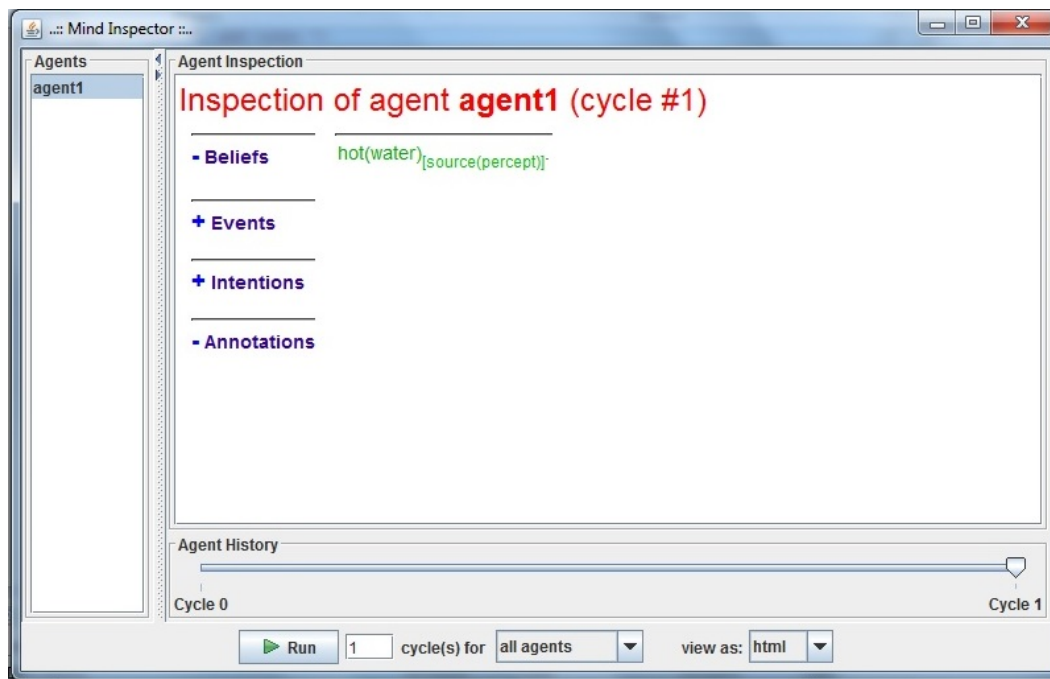


Figura 4.4: Mind Inspector de Jason mostrando la creencia del agente

Ahora que el agente ha obtenido una nueva creencia, procede a evaluar si ya alcanzó su objetivo, pues de ser así deberá suspender cualquier actividad relacionada con la búsqueda del mismo. Pero en caso de que no haya sido así, entonces selecciona una intención que lo acerque a lograr su objetivo. Es decir, como resultado a su creencia de que el agua está caliente, el agente decide que debe abrir la llave del agua fría. Lo antes mencionado se puede apreciar en la Figura 4.5, donde aparece la leyenda “furtheropen(coldsprinkler)” en la sección llamada “intentions”.

La siguiente acción que ejecuta el agente es esperar a que se mezclen los flujos de agua fría y agua caliente; por éste motivo aparece la intención “wait” en el nuevo estado mental del agente (Ver Figura 4.6).

Después de que el agente ha esperado un tiempo prudente, vuelve a percibir la temperatura del agua y a construir una nueva creencia. Si su nueva creencia señala que la temperatura del agua es distinta de lo que desea, entonces volverá a formular un plan de acción para ajustarla.

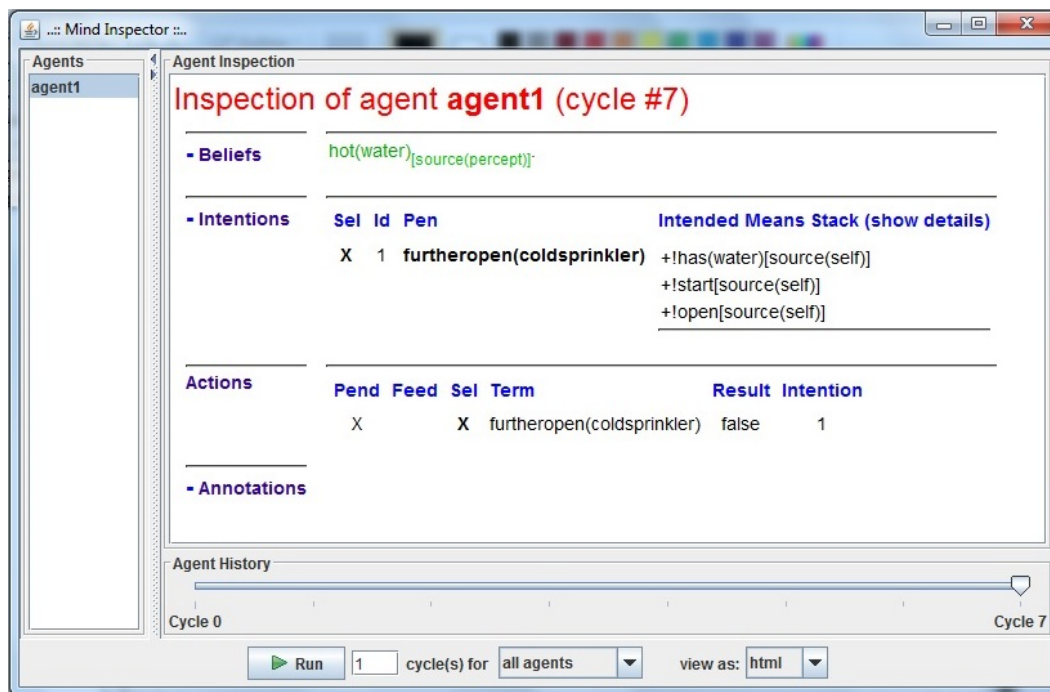


Figura 4.5: Mind Inspector de Jason mostrando la nueva intención del agente

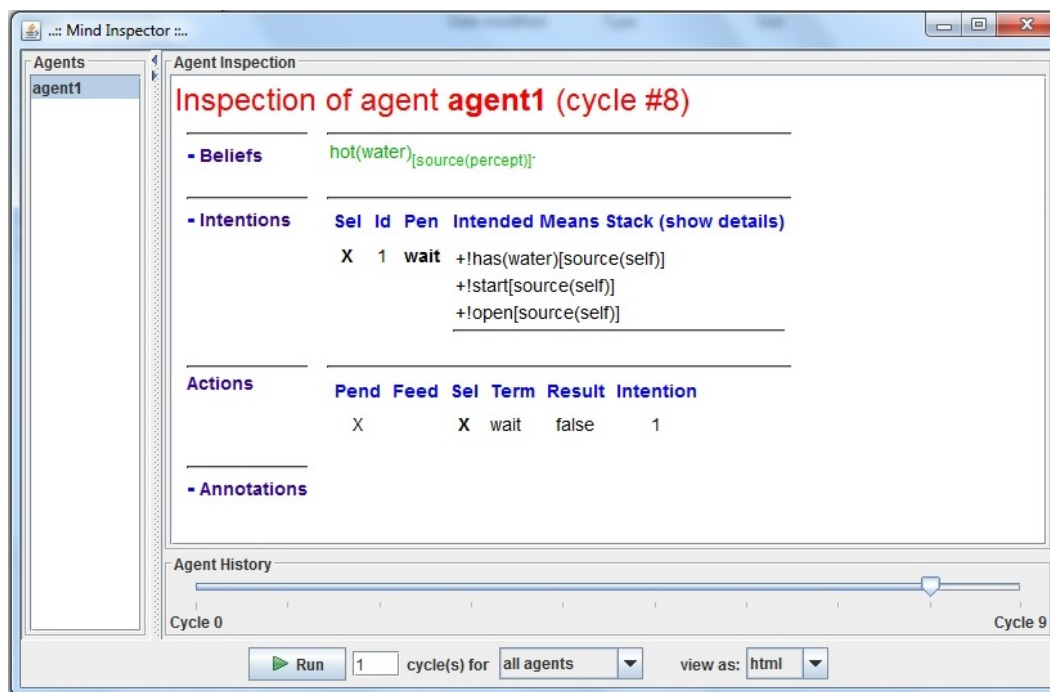


Figura 4.6: Mind Inspector de Jason mostrando la intención “wait” del agente

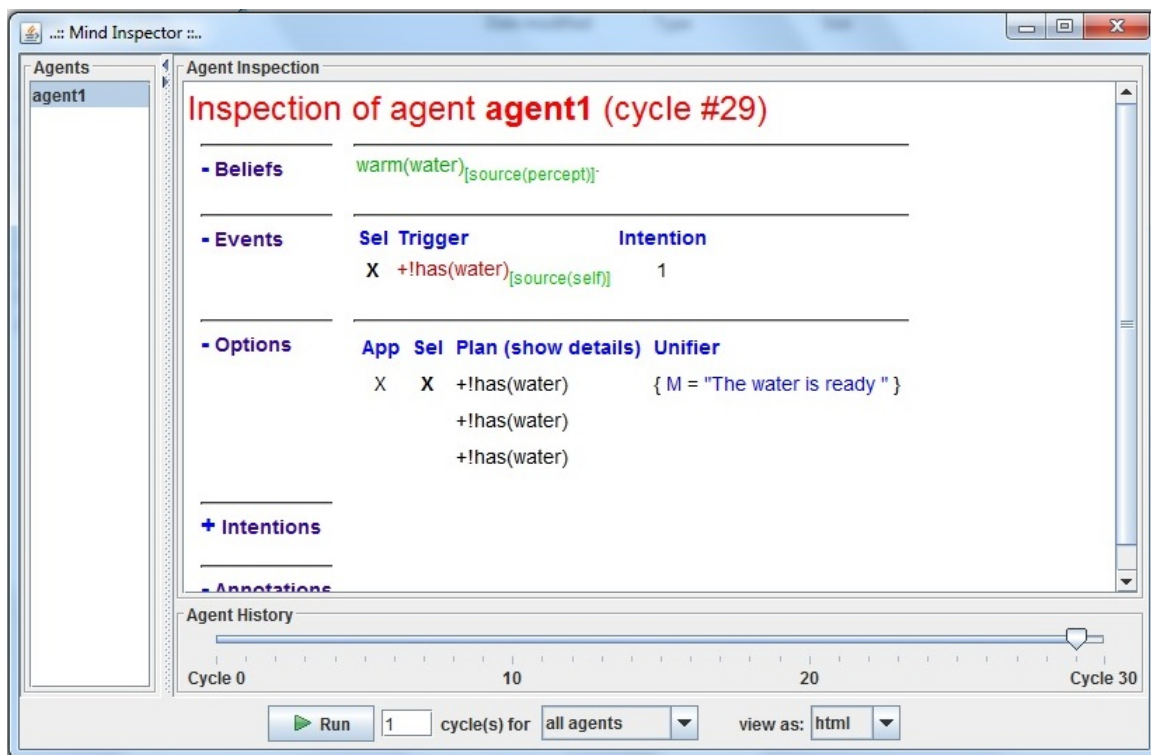


Figura 4.7: Mind Inspector de Jason mostrando la creencia del agente

Así continuará el agente, hasta que obtenga una creencia la cual le indique que ha logrado su objetivo, como lo demuestra la Figura 4.7; donde se puede apreciar que finalmente (en el ciclo 29) ya pudo alcanzar su objetivo de tener agua tibia. En dicha Figura aparece su nueva creencia “warm(water)” y además se puede ver que ya tiene listo el mensaje para notificar que el agua está lista (“The water is ready”).

Para concluir se muestra la captura de la consola de salida donde aparecen las acciones del agente, sus percepciones y desde luego sus creencias (ver Figura 4.8).

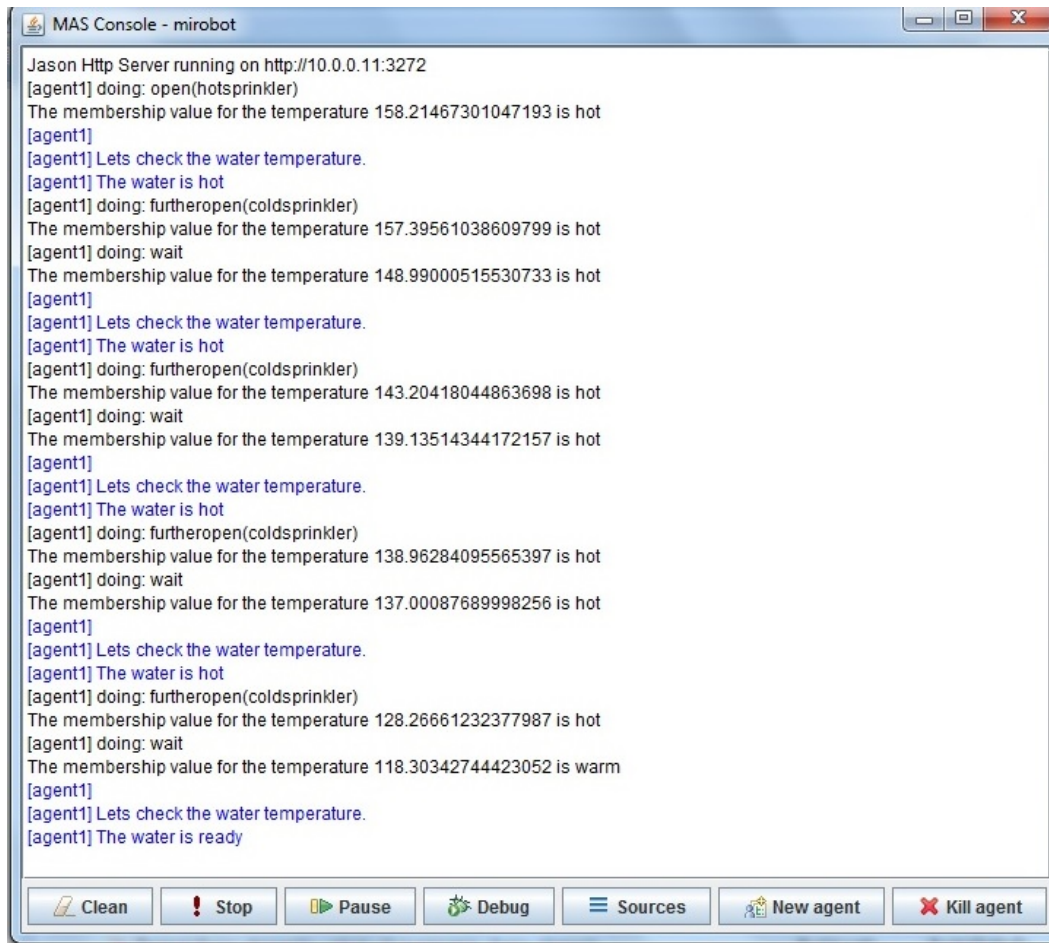


Figura 4.8: Captura de la consola de Jason mostrando la salida del agente

4.2. Caso 2: Simulación de la percepción y preferencias de accesibilidad

El caso de estudio que se presenta a continuación tiene como propósito demostrar que es posible alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación.

Como parte del caso de estudio se plantea una propuesta para modelar las preferencias de locomoción que suelen exhibir las personas con discapacidad cuando eligen una ruta accesible, de un conjunto de rutas, para ir del punto A al punto B.

Específicamente el modelo trata de reproducir el fenómeno que implica formular las preferencias de locomoción tomando como referencia las capacidades para andar de las personas (Ver sección 2.1.2) y la percepción de accesibilidad que tengan acerca de las posibles rutas.

Así pues, mediante la validación del modelo se podrá demostrar la hipótesis y que los objetivos planteados se han podido alcanzar.

4.2.1. Descripción del caso

Como ya se mencionó, en éste caso de estudio se presenta un modelo, cuyo propósito es permitir visualizar cómo las capacidades para andar de un individuo, sumadas a su percepción de la accesibilidad, pueden afectar sus preferencias de locomoción; dichas preferencias se pueden observar cuando decide elegir una ruta determinada (de un conjunto de rutas accesibles) para desplazarse de un lugar a otro.

Para construir el modelo fue necesario realizar una serie de actividades, las cuales son las siguientes:

- Realizar investigación documental relacionada con la forma de evaluar y clasificar las capacidades de las personas.

- Realizar investigación documental y de campo, primero para identificar las características de las rutas accesibles y después para buscar un espacio físico que reuniera las características necesarias para servir en el caso de estudio.
- Seleccionar un grupo de personas con discapacidad para recolectar información.
- Diseñar un cuestionario para recabar información sobre preferencias de locomoción y percepción de accesibilidad.
- Aplicar el cuestionario para recabar información.
- Analizar los resultados de los cuestionarios para construir el modelo.
- Seleccionar un grupo de control formado por personas con discapacidad para recolectar información.
- Diseñar un cuestionario de control para recabar información sobre preferencias de locomoción y percepción de accesibilidad.
- Aplicar el cuestionario para recabar información del grupo de control.
- Analizar los resultados de los cuestionarios para validar el modelo.
- Validar el modelo.

Evaluación de la percepción de accesibilidad y preferencias de locomoción

Después de haber revisado las distintas adecuaciones físicas y sus características para considerarlas accesibles; se tomó dicha información de referencia para seleccionar algunas de ellas con la finalidad de buscar espacios físicos, los cuales estuvieran dotados con tales instalaciones y ofrecieran las condiciones adecuadas para realizar la evaluación acerca del nivel de accesibilidad percibida por las personas.

La selección mencionada anteriormente fue basada en trabajo previo publicado [47], dónde se plantea la utilización de sensores y cómputo ubicuo para medir la accesibilidad de las instalaciones físicas en espacios públicos. Sin embargo, para el caso de estudio descrito en ésta sección se necesita evaluar la accesibilidad desde el punto de vista de como la perciben los seres humanos, lo cual no era el objetivo de [47].

La Figura 4.9 describe a grandes razgos el proceso para seleccionar y evaluar las instalaciones accesibles que pueden estar presentes en diversos espacios físicos, como pueden ser estadios, edificios de gobierno, hospitales, fábricas, etc. Tales instalaciones serían evaluadas mediante cuestionarios con la finalidad de medir el nivel de accesibilidad percibida por las personas.

Para efectos de poder evaluar tanto la percepción de accesibilidad como las preferencias de las personas para desplazarse por rutas accesibles alternas, se decidió buscar un edificio que reuniera las siguientes características:

- poseer más de una ruta accesible
- contar con la afluencia de personas con discapacidad
- contar con dos o más niveles
- poseer un diseño arquitectónico que permita realizar la recolección de datos sin obstruir el flujo de personas por el edificio

Con base en las características antes mencionadas se seleccionó el edificio de un museo local denominado “Museo del Trompo”, el cual cuenta con dos medios de acceso desde el estacionamiento (escalones y rampa), además cuenta con tres medios de acceso a pisos superiores (elevador, rampa y escaleras).

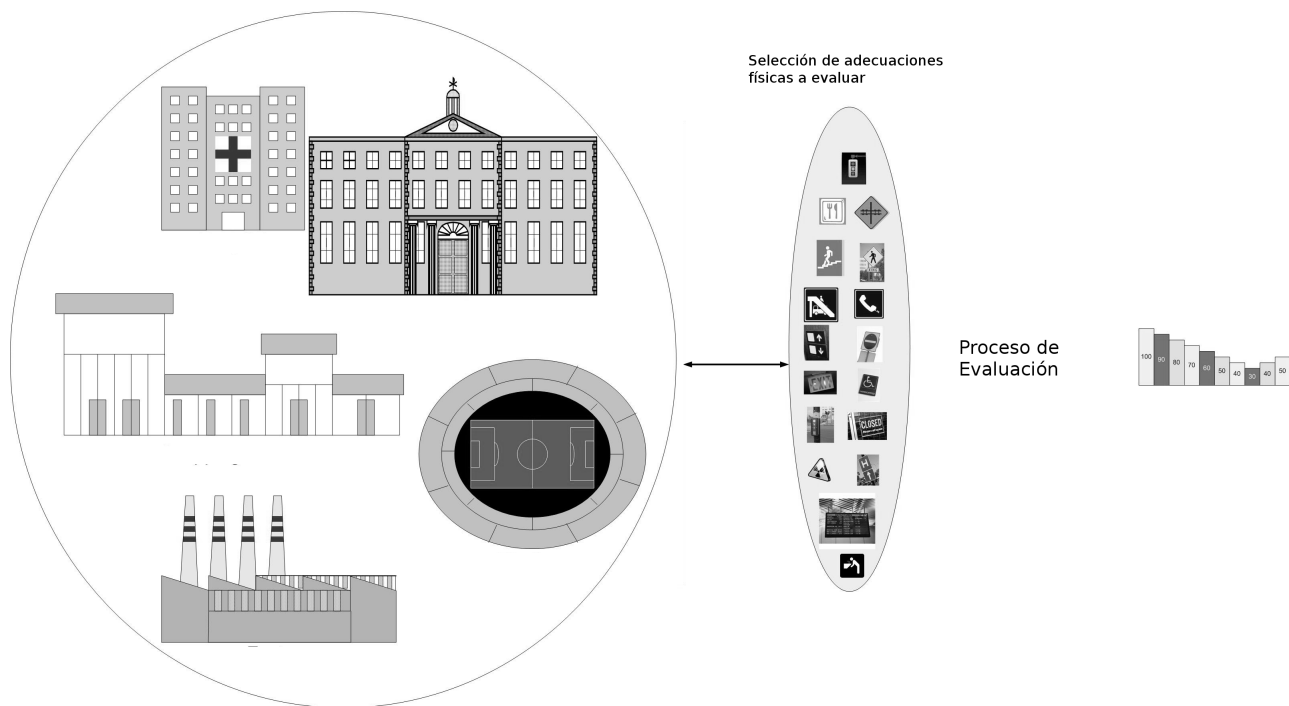


Figura 4.9: Modelo ubicuo de evaluación de accesibilidad

Recolección de datos

Para la recolección de datos se propone un modelo (Ver Figura 4.10) en el cual se identifican principalmente tres etapas o niveles, en el nivel más bajo se tiene la captura de datos mediante la observación y cuestionarios que se aplican a las personas que hacen uso de las adecuaciones físicas. En la segunda etapa se hace un filtrado con el propósito de seleccionar, clasificar y almacenar los datos que corresponden al uso de una adecuación física; tal información será utilizada durante la tercera y última etapa en la cual se evalúa el grado de percepción de accesibilidad de las adecuaciones (principalmente la percepción de la accesibilidad física) así como las preferencias que tienen las personas para desplazarse utilizando unas adecuaciones en lugar de otras.

Se diseñó el cuestionario de tal manera que las personas pudieran expresar su percepción del nivel de comodidad de cada una de las rutas, por ejemplo de la rampa y escalones, (Ver B.2

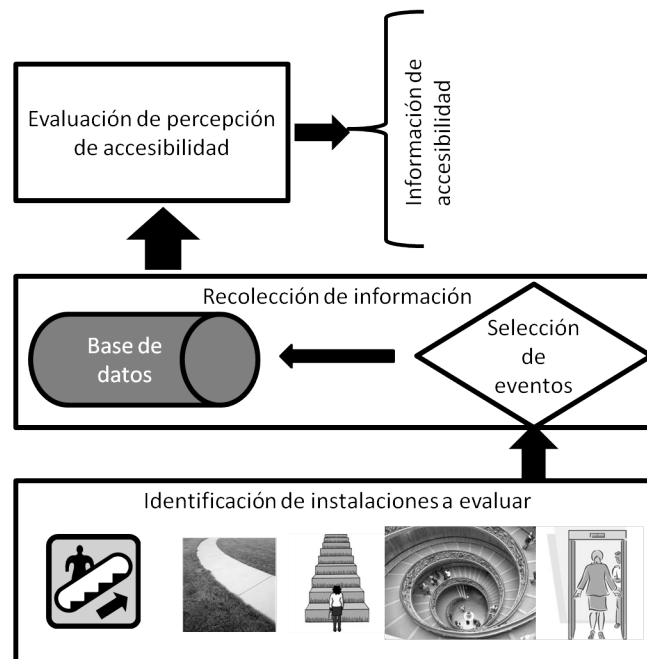


Figura 4.10: Modelo de recolección de datos para la evaluación de percepción de accesibilidad y preferencias de desplazamiento

en anexos) y también se les pidió que expresaran su grado de preferencia (Ver B.1 en anexos) para utilizar cada una de las rutas. Cabe mencionar que se manejó una escala de 0 a 10 para medir tanto la percepción como las preferencias, donde 0 corresponde a una percepción de accesibilidad muy baja y 10 la percepción de una accesibilidad muy alta; lo mismo ocurre en el caso de las preferencias de uso de cada una de las rutas; es decir 0 corresponde a la mínima preferencia y 10 a la máxima.

Se seleccionó un grupo de 10 personas con discapacidad motriz, quienes presentaban diferentes valores en su calificador de capacidad para la unidad de clasificación identificada como “d450” y denominada “Andar y moverse”, que se encuentra dentro del dominio “Movilidad” del componente “Actividades y Participación”, la cual a su vez se encuentra clasificada dentro de la Parte 1 de la CIF llamada “Funcionamiento y Discapacidad” (Ver Figura 4.11).

Las personas entrevistadas visitaron el museo de manera individual, lo cual garantiza que no fueron guiadas en su visita, descartando así la posibilidad de que sus respuestas a la

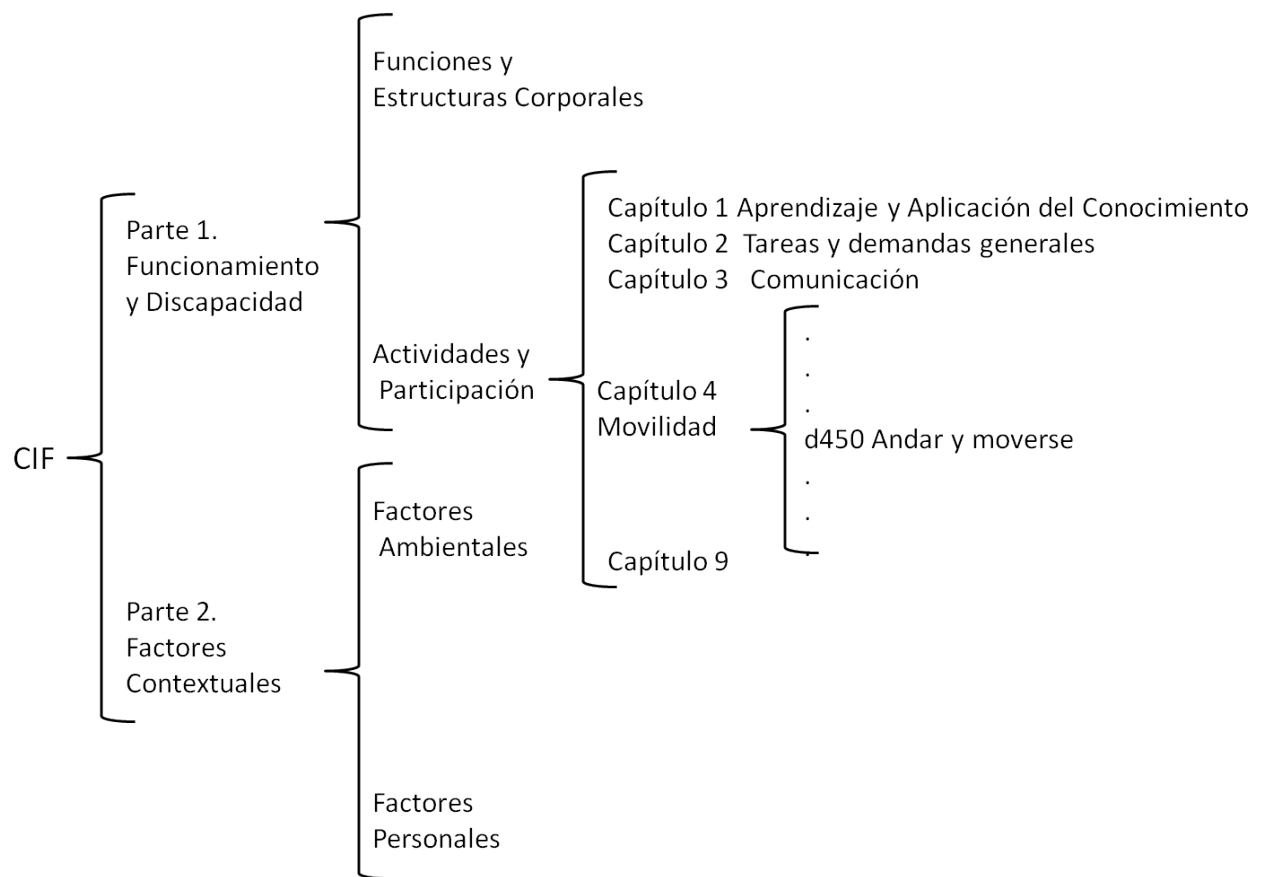


Figura 4.11: Figura mostrando la unidad de clasificación d450 dentro de la CIF

entrevista fueran influenciadas por alguien mas. Específicamente se entrevistaron personas que requieren del uso de algún equipo de soporte (bastón, muletas, andadera, silla de ruedas, etc...) para desplazarse. Todo ello con la finalidad de recopilar información acerca de su percepción de la accesibilidad y sobre sus preferencias al utilizar cada una de las rutas antes mencionadas.

En la Tabla 4.2 se muestran los calificadores que establece la CIF [3] para valorar la capacidad de andar, lo cual es resumido en las primeras 3 columnas, mientras que en las últimas 2 se muestra a detalle la cantidad de personas entrevistadas y el tipo de soporte que utilizaban.

Tabla 4.2: Personas entrevistadas y sus calificadores asociados [3]

Calificadores	Vocablos	Porcentaje de limitación	Personas entrevistadas	Detalle
xxx.0	NO hay problema	0–4 %	0	No aplica
xxx.1	Problema LIGERO	5–24 %	5	utiliza bastón
xxx.2	Problema MODERADO	25–49 %	3	andador
xxx.3	Problema GRAVE	50 –95 %	2	silla de ruedas
xxx.4	Problema COMPLETO	96 –100 %	0	No aplica

Los resultados preliminares de la evaluación de la entrevista pueden apreciarse en las Figuras 4.12 y 4.13. Después de observar las gráficas se puede decir que la percepción de accesibilidad, de cierta manera, influye en las preferencias de uso de una ruta, por ejemplo en la Figura 4.12 se aprecia claramente que la percepción de accesibilidad de la rampa es inferior que la percepción de accesibilidad de los escalones, lo cual coincide con las preferencias de las personas para usar los escalones en lugar de la rampa.

4.2.2. Modelado

El modelo se construyó considerando los datos recopilados acerca de las percepciones de accesibilidad y las preferencias de locomoción para las dos rutas de acceso: escalones y rampa.

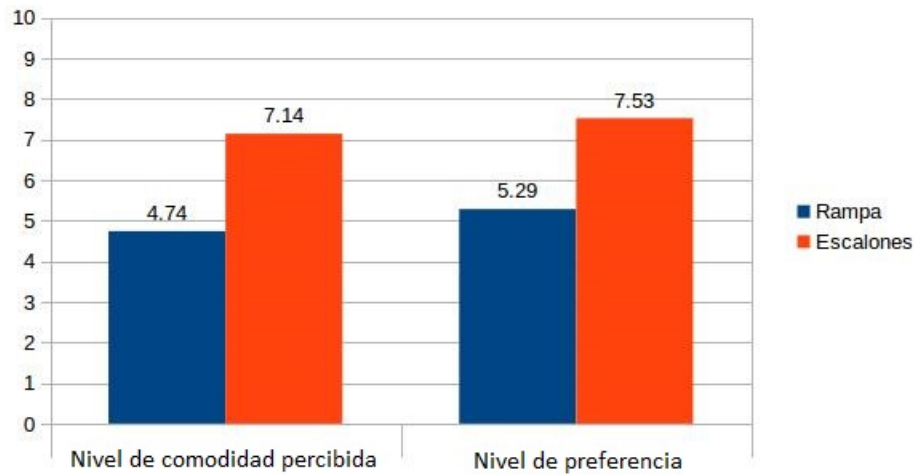


Figura 4.12: Evaluación de percepción de accesibilidad y preferencias de desplazamiento de la entrada al museo

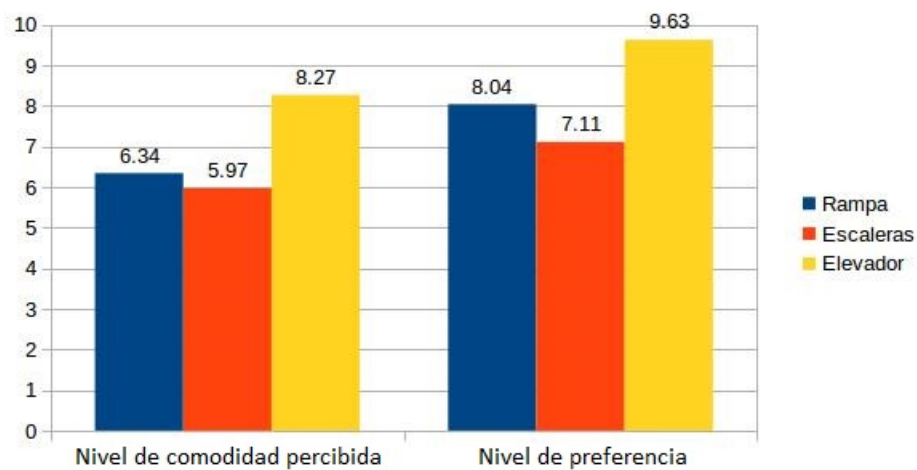


Figura 4.13: Evaluación de percepción de accesibilidad y preferencias de desplazamiento de las rutas para acceder a pisos superiores

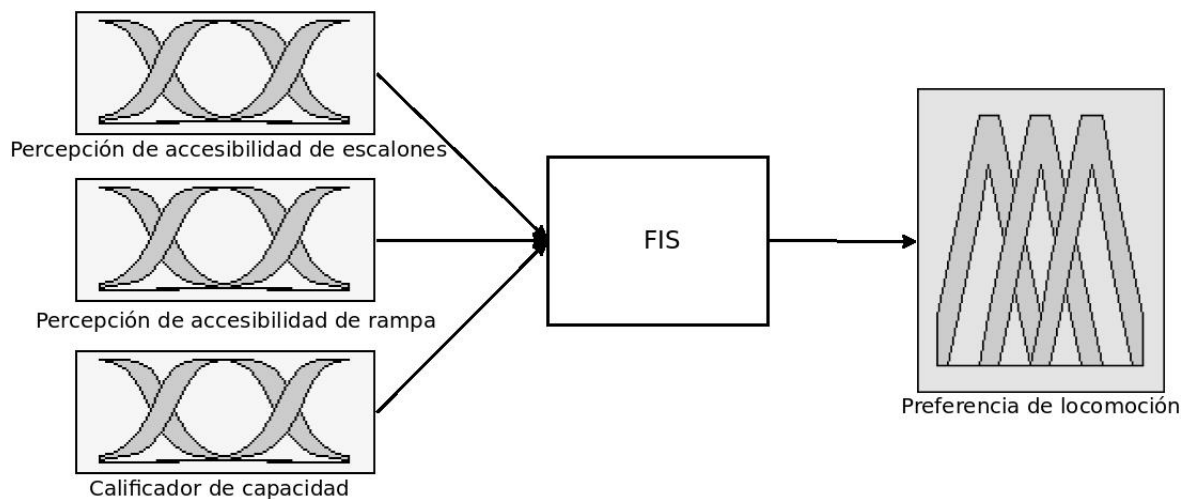


Figura 4.14: Modelo de inferencia difusa para las preferencias de locomoción

Las variables de entrada al modelo son tres: el calificador de capacidad y las preguntas de la entrevista sobre percepción de accesibilidad tanto de la rampa como de los escalones. Las variables mencionadas sirven de entrada para un sistema de inferencia difusa, cuyas reglas fueron obtenidas mediante un análisis empírico de los datos recabados en las entrevistas; dando como resultado la inferencia sobre las preferencias de locomoción de la persona con discapacidad. La Figura 4.14 muestra como está conformado el modelo.

La entrada correspondiente al calificador de capacidad de la persona fue dividida en cinco valores lingüísticos, de acuerdo a la escala establecida por la CIF [3] la cual se divide en cinco rangos de porcentajes, por lo que su escala en el eje de las x va del 0 al 100 %, como lo muestra la Figura 4.15.

Como ya se mencionó anteriormente las respuestas a las preguntas sobre la percepción de accesibilidad se registraron en una escala continua de 0 a 10cm. Para el modelo se consideraron dos variables de percepción de accesibilidad (rampa y escalones), cada una de las cuales fue dividida en cinco valores lingüísticos (muy baja, baja, media, alta y muy alta accesibilidad). En la Figura 4.16 puede apreciarse la escala, junto con las funciones de membresía y los valores lingüísticos correspondientes.

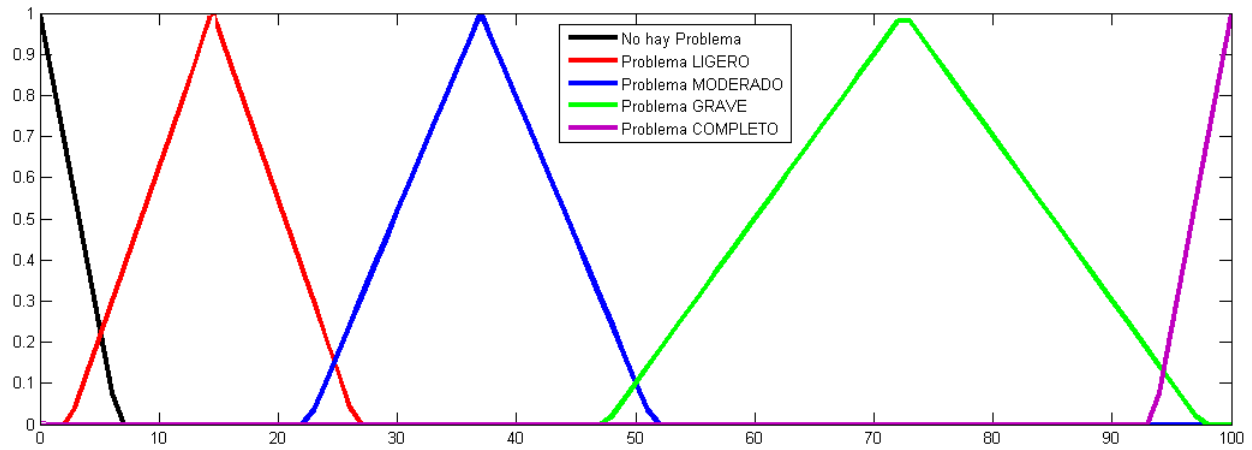


Figura 4.15: Funciones de membresía para los calificadores de la capacidad de andar

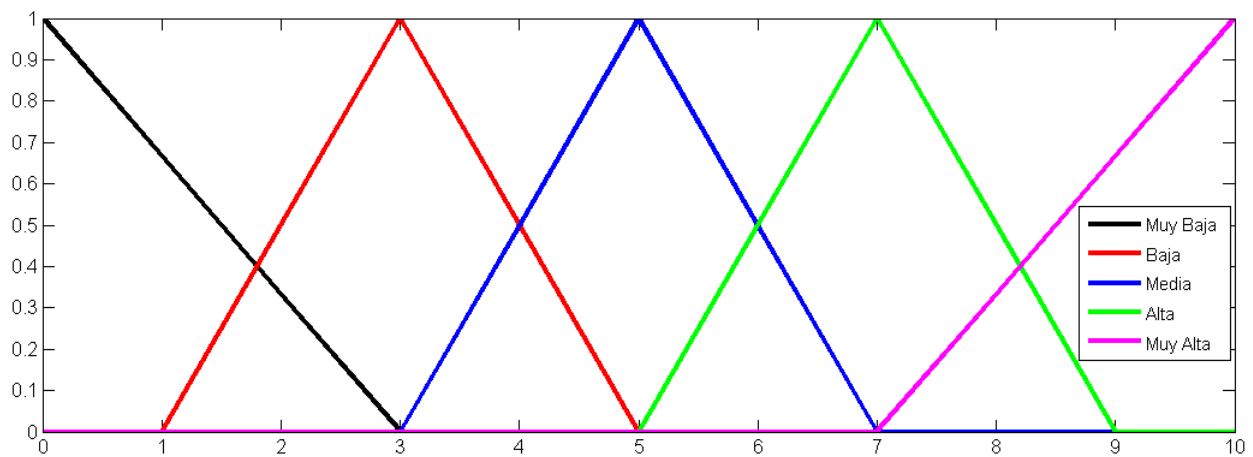


Figura 4.16: Funciones de membresía para la percepción de accesibilidad de rampa y escalones

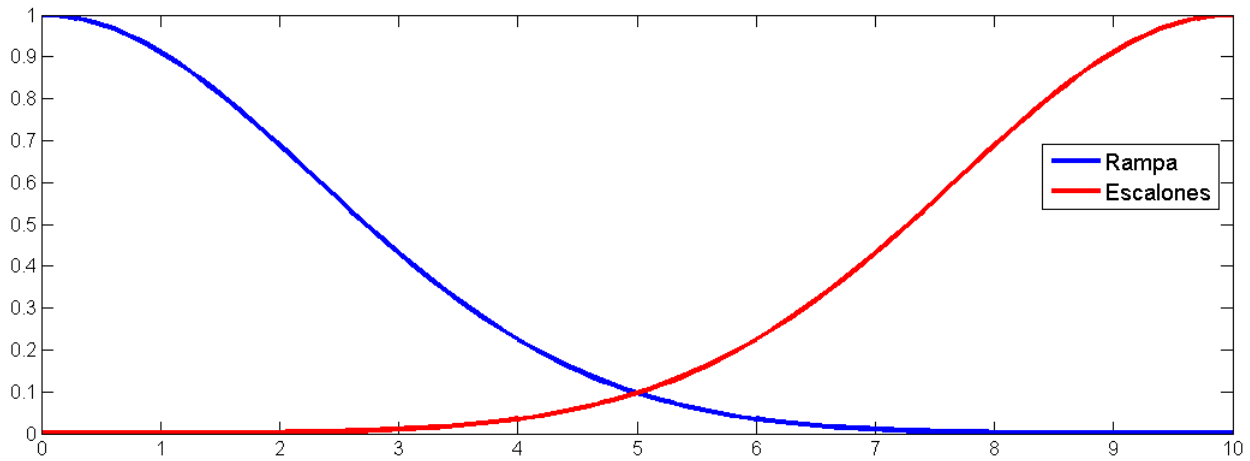


Figura 4.17: Funciones de membresía para las preferencias de locomoción

El sistema de inferencia difuso fue compuesto por 73 reglas, eliminándose las reglas redundantes, como las que incluyen los valores lingüísticos “No hay problema” y “Problema COMPLETO” para la variable “calificador de capacidad”. Un ejemplo de las reglas del sistema es la siguiente:

- If (“calificador de capacidad” is “Problema LIGERO”) and (“percepción de accesibilidad rampa” is “muy baja”) and (“percepción de accesibilidad escalones” is “baja”) Then (“preferencia de locomoción” is “escalones”)

Para la variable de salida, preferencias de locomoción, se definieron las funciones de membresía de acuerdo a lo descrito en la Figura 4.17. En este caso estamos modelando las preferencias con base a las dos rutas que existen para acceder al interior del museo: rampa y escalones, por esta razón la gráfica únicamente contempla dos posibles valores lingüísticos.

4.2.3. Resultados

Para validar el caso de estudio se realizó una segunda entrevista (Consultar B.3 en anexos) a un grupo de 6 personas con discapacidad motriz, quienes respondieron la misma entrevista

que se aplicó para recolectar información, con la excepción de que en ésta ocasión, para responder a la pregunta sobre su preferencia de locomoción se les pidió que eligieran una de las dos opciones: rampa o escalones.

Tabla 4.3: Respuestas de segunda entrevista y el resultado del modelo

Calificadores	Percepción de accesibilidad de rampa	Percepción de accesibilidad de escalones	Preferencia de de locomoción	Resultados del FIS
xxx.1	3.6	8.8	Escalones	7.92 = escalones
xxx.1	7.4	8.1	Escalones	6.48 = escalones
xxx.1	6.8	7.9	Escalones	7.88 = escalones
xxx.2	7.8	7.6	Rampa	3.6 = rampa
xxx.2	7.9	6.3	Rampa	2.12 = rampa
xxx.3	8.6	6.5	Rampa	2.14 = rampa

La Tabla 4.3 concentra, en las primeras 4 columnas, las respuestas de la entrevista realizada a las personas del grupo de control y en la última columna el resultado arrojado por el modelo cuando se le alimentaron dichas respuestas.

Por ejemplo, en el primer renglón se lee que una persona, cuyo calificador de capacidad para andar es “Problema LIGERO” (XXX.1), respondió que su percepción de accesibilidad de la rampa es de 3.6 (baja), mientras que percibe la accesibilidad de los escalones como 8.8 (muy alta) y la respuesta acerca de su preferencia de locomoción fue “Escalones”.

Para obtener los valores de la última columna se tomaron las respuestas que corresponden a la capacidad para andar del entrevistado y su percepción de accesibilidad acerca de las distintas rutas; es decir los valores de las columnas 1, 2 y 3 respectivamente. Tales valores se alimentaron al modelo (1, 3.6 y 8.8), el cual dio como salida el valor 7.92. Este último valor se utilizó para evaluar su membresía en las funciones asignadas para la variable de salida “preferencia de locomoción” (ver Figura 4.17), dando como resultado que la preferencia inferida por el modelo corresponde a los “escalones”, lo cual coincide con la respuesta que dio la persona sobre su preferencia (columna 4). Es decir, el modelo permite obtener las mismas

preferencias que indicó la persona en la entrevista, utilizando como entrada la información de percepción que ella respondió junto con su calificador de capacidad.

Dicho de otra manera, de acuerdo a lo que se presenta en la Tabla 4.3 se puede decir que el modelo permite inferir cual será la preferencia de locomoción de una persona con discapacidad, mediante la relación que establece entre las capacidades de ella y sus percepciones de accesibilidad.

4.3. Análisis de Resultados

Sin duda alguna se puede afirmar que los casos de estudio permiten demostrar la satisfacción de los objetivos ha sido lograda; ya que mientras el primer caso de estudio se centró en modelar la percepción imprecisa y la formulación de creencias a partir de percepciones sensoriales, el segundo caso de estudio plantea un escenario más complejo, donde se modela la percepción de accesibilidad y la capacidad para andar de las personas, permitiendo formular creencias más complejas que en el primer caso de estudio.

Si observamos con detalle podremos ver que el éxito logrado con el primer caso de estudios hizo posible que se pudiera pensar en el segundo caso de estudio. Es decir, el primer caso de estudio muestra que es posible construir creencias a partir de percepciones incompletas. También se pudo establecer una metodología para crear la base de conocimientos que utiliza el agente para procesar las percepciones. Adicionalmente se pudo obtener como resultado de éste primer caso de estudio, una metodología para la construcción de creencias.

Desde luego podemos pensar que las percepciones del agente (del caso 1) son primitivas a simple vista, puesto que se trata de percepciones sensoriales muy básicas como percibir la temperatura y además se trata de una sola señal percibida. Sin embargo, los resultados obtenidos con dicho caso de estudio, en particular los logros alcanzados con relación a la

metodología para dotar al agente de conocimientos para procesar percepciones y construir creencias, nos permite asegurar que es posible construir agentes con capacidades de percepción más complejas y mecanismos de razonamiento más sofisticados, capaces de procesar varias señales percibidas para construir sus creencias.

Otro beneficio del método propuesto es que permite realizar el análisis y procesamiento de las percepciones en una etapa temprana, antes de que el agente empiece a efectuar cualquier razonamiento sobre sus creencias acerca del ambiente.

Por otra parte los resultados del segundo caso de estudio demuestran que es posible procesar percepciones difusas y combinarlas con percepciones más complejas, como puede ser la percepción que tenga un individuo acerca de sus capacidades, para a partir de ellas producir creencias más elaboradas que derivarán en preferencias, como puede ser la preferencia exhibida al seleccionar una ruta de un conjunto de rutas.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones

Esta investigación se centra en una propuesta de modelado de peatones mediante el uso de agentes BDI. En las teorías de Bratman[22], Rao [43] y Bordini [11] dejan claro el hecho de que los agentes perciben el entorno, pero no establecen una metodología para transformar esas percepciones en creencias, tampoco consideran la posibilidad de que las percepciones pueden ser imprecisas, por lo que no mencionan como procesarlas.

La propuesta de agentes BDI con percepciones difusas constituye una aportación importante de ésta investigación, puesto que extiende la capacidad de percepción de los agentes BDI al incorporar lógica difusa junto con el modelo de construcción de creencias; otorgándoles la capacidad de procesar percepciones vagas o imprecisas para construir sus creencias sin alterar el entorno donde se ejecutan respetando el ciclo de razonamiento de Jason.

Se presentó como caso de estudio el ejemplo del agente que regula la temperatura del agua, el cual se utilizó para demostrar la viabilidad del modelo de construcción de creencias y el algoritmo extendido del ciclo de razonamiento para los agentes BDI.

Otra aportación del método propuesto es que permite desarrollar agentes de software cuyas percepciones del entorno sean más parecidas a las de los humanos, facilitando la creación de agentes capaces de simular, al menos en parte, el comportamiento de los humanos.

El modelo de agente BDI con percepciones difusas propuesto, facilitará el desarrollo de agentes que tengan una mejor comunicación con los humanos, puesto que, como ya se ha mencionado, la aportación de este trabajo constituye una alternativa mediante la cual los agentes pueden percibir el entorno de manera imprecisa, pero además brinda a los agentes la capacidad de procesar dichas percepciones.

De lo anteriormente mencionado podemos llegar a la conclusión de que si los agentes pueden procesar las percepciones difusas, también pueden almacenarlas y con un poco de esfuerzo de desarrollo adicional podrán intercambiar percepciones imprecisas con otros agentes, estos últimos podrían ser humanos o agentes de software.

El progreso de éste trabajo de investigación será de beneficio a proyectos relacionados a la simulación basada en agentes, así como a proyectos donde los agentes deben interactuar con humanos.

Se presentó un segundo caso de estudio en donde se modelan las preferencias de locomoción de personas con discapacidad a partir de sus grados de capacidad para “andar y moverse” y su percepción de accesibilidad. Por lo tanto se realizaron entrevistas y observaciones, con la finalidad de poder construir un modelo que permitiera reproducir dicho fenómeno.

Una aportación del modelo presentado en el segundo caso de estudio, es que permite demostrar que es posible incorporar percepciones difusas, como la percepción de accesibilidad y la capacidad para andar; y las utiliza para inferir acerca de las preferencias de locomoción de una persona.

Otra aportación del presente trabajo de investigación es la metodología desarrollada para modelar la capacidad para andar de las personas, misma que puede servir de guía para

modelar otras capacidades de los seres humanos.

Un beneficio de los casos de estudio mostrados, es que pueden servir de guía para la construcción de modelos más complejos que permitan simular el comportamiento peatonal de las personas con discapacidad, para lo cual resulta necesaria una arquitectura de agentes que sea capaz de procesar percepciones impresas.

5.2. Trabajo futuro

Como trabajo futuro a esta propuesta se encuentran, entre otras, las siguientes:

- 1 Extender la arquitectura de agentes BDI con percepciones difusas y el protocolo de comunicación entre agentes, para dotar a los agentes de la capacidad de intercambiar percepciones.
- 2 Definir una interfaz que permita incorporar la arquitectura de agente BDI con percepciones difusas en herramientas de simulación basada en agentes.
- 3 Definir una metodología que permita modelar distintos tipos de percepciones sensoriales.
- 4 Extender la arquitectura del agente BDI con percepciones difusas para modelar distintas percepciones sensoriales de manera simultánea.
- 5 Extender el modelo de preferencias de locomoción para incorporarle la capacidad de inferir las preferencias considerando otros aspectos que influyen en el comportamiento peatonal, como pudieran ser: estado de ánimo, múltiples calificadores de capacidad, nivel de paciencia del individuo, etc .
- 6 Continuar trabajando en el modelado del comportamiento peatonal.

- 7 Definir una arquitectura que permita crear estructuras taxonómicas, que faciliten la definición de variables capaces de representar distintos valores para los calificadores de capacidad.

Bibliografía

- [1] Secretaría de Salud / Consejo Nacional para las Personas con Discapacidad, “Programa Nacional para el Desarrollo de las Personas con Discapacidad, 2009-2012”, Septiembre, 2009. ISBN: 978-607-460-099-5
- [2] Comisión Nacional de los Derechos Humanos, México, “Muestra - Diagnóstico Nacional De Accesibilidad en Inmuebles de la Administración Pública Federal”, Octubre, 2009.[en-línea]. Disponible en: <http://www.cndh.org.mx/index.htm>
- [3] Organización Mundial de la Salud. “Clasificación Internacional de la Funcionalidad, la Discapacidad y la Salud (CIF)”. Génova: Organización Mundial de la Salud, (2001).
- [4] Gilbert, N. y Troitzsch, K.G. (2005). Simulation for the social scientist. 2 ed, ed. M. Keynes. Open University Press.
- [5] Moraitis, P. y Spanoudakis, N. (2007). Argumentation-Based Agent Interaction in an Ambient-Intelligence Context, IEEE Intelligent Systems, IEEE: 84-93.
- [6] Ali, W. y Moulin, B. (2005). 2D-3D MultiAgent GeoSimulation with Knowledge-Based Agents of Customer’s Shopping Behavior in a Shopping Mall, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7] Epstein, J.G., Möhring, M. y Troitzsch, K. G. (2003). Fuzzy-Logical Rules in a Multi-Agent System, SimSocVI workshop, Groningen.

- [8] Naciones Unidas. “Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y su Protocolo Facultativo”. Nueva York, USA, (2006).
- [9] Flores Gutiérrez, D. L. (2009). Modelado de Contexto usando Redes Semánticas para la Detección de Conflicto Social. Universidad Autónoma de Baja California.
- [10] Wooldridge, M. y Jennings, N.R. (1995) Intelligent agents: theory and practice. The Knowledge Engineering Review 10(2), 115 - 152.
- [11] Wooldridge, M., Bordini, R. H. y Hübner, J. F. (2007). Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason. West Sussex: Wiley.
- [12] Wooldridge M 2002 An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley, Chichester.
- [13] Foundation for Intelligent Physical Agents, FIPA, FIPA Agent Management Specification, marzo 2004, [Online] Disponible: <http://www.pa.org/specs/pa00023/SC00023K.html> [Accesada: 28 de marzo de 2011]
- [14] Franklin, S. y Graesser, A. (1996). “Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents”, in Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages, Springer-Verlag.
- [15] Huhns, M. N. y Singh, M. P. (1998). “Agents and Multi-agent Systems: Themes, Approaches, and Challenges”. Readings in Agents. San Francisco, Ca., Morgan Kaufmann Publishers: 1–23.
- [16] Laird, Rosenbloom, and Newell (1987). “Soar: An Architecture for General Intelligence”. Artificial Intelligence (journal), 33: 1–64.
- [17] Laird, 2012, “The Soar Cognitive Architecture”, MIT Press, ISBN 978-0-262-12296-2.
- [18] Laird, J. E. (2008). Extending the Soar Cognitive Architecture. University of Michigan, Ann Arbor.

-
- [19] Newell, Allen (1994). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press. ISBN 0-674-92101-1.
- [20] Anderson, J. R. (2007). *How can the human mind occur in the physical universe?* New York, NY: Oxford University Press. ISBN 0-19-532425-0.
- [21] Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., y Qin, Y . (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 1036-1060.
- [22] Bratman, M. E. (1999) [1987]. *Intention, Plans, and Practical Reason*. CSLI Publications. ISBN 1-57586-192-5.
- [23] Galitsky, B. (2002). “Extending the BDI model to accelerate the mental development of autistic patients”. The 2nd International Conference on Development and Learning.
- [24] Rao, A. S. y Georgeff, M. P. (1991). Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pages 473-484.
- [25] Rao, A. S. y Georgeff, M. P. (1995). BDI-agents: From Theory to Practice, In *Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS’95)*, San Francisco.
- [26] Jing X, Luo X. A fuzzy dynamic belief logic. In: Nguyen N T, eds. *ICAART 2013 - International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, Barcelona, Spain, 2013. 289–294
- [27] Sernani P, Palazzo L, Claudi A, et al. Virtual carer: A BDI agent system for ambient assisted living. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Artificial Intelligence and Netmedicine (NetMed’13)*, Beijing, China, 2013. “in press”
- [28] Wooldridge, M. (2000). *Reasoning About Rational Agents*. The MIT Press. ISBN 0-262-23213-8.

- [29] de Silva, L. Sardina, S. y Padgham, L.(2009). First principles planning in BDI systems, in Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- [30] Meneguzzi, F. Zorzo, A. Móra, M. y Luck, M.(2007). Incorporating Planning into BDI Agents. Scalable Computing: Practice and Experience, v. 8.
- [31] Kaminka, G. A. y Frenkel, I. (2005). Flexible Teamwork in Behavior-Based Robots. In Proceedings of the Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-05).
- [32] Kaminka, G. A. Yakir, A. Erusalimchik, D. y Cohen-Nov, N. (2007). Towards Collaborative Task and Team Maintenance. In Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-07).
- [33] Jang, J.S. R., Sun, C.T. y Mizutani, E. (1997). “Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence”, Prentice Hall, USA.
- [34] Suarez, E. D., Rodríguez-Díaz, A. y Castañón-Puga, M. (2008). Fuzzy Agents, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [35] Mendel, J. y Wu, D. (2010). “Perceptual Computing: Aiding People in Making Subjective Judgments”, Wiley-IEEE Press, USA.
- [36] Mann, W. C., y Helal, S. (2004). Pervasive Computing Research on Aging , Disability and Independence. Symposium A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures, 3-5.
- [37] Hattori, F., Kuwabara, K., Kuwahara, N., Abe, S., y Yasuda, K. (2007). Socialware for System, 321-326.
- [38] Lee, J. y Pinheiro dos Santos, W. (2010). An Adaptative Fuzzy-Based System to Evaluate Color Blindness,IWSSIP 2010 - 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Rio de Janeiro, Brazil.

- [39] Thriault, M. y Des Rosiers, F. (2004). Modelling Perceived Accessibility to Urban Amenities Using Fuzzy Logic, Transportation GIS and Origin-Destination Surveys, 7th AGILE Conference on Geographic Information Science, Greece.
- [40] Gobierno del Distrito Federal, (2007). “Manual Técnico de Accesibilidad”, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, México, D.F.
- [41] Presidencia de la República, (2000). “Recomendaciones de accesibilidad”, Oficina de Representación para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad, México, D.F.
- [42] Lee, S., Son, Y.-J., y Jin, J. (2010). An integrated human decision making model for evacuation scenarios under a BDI framework. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 20(4), 1–24. doi:10.1145/1842722.1842728
- [43] Rao, A. S. AgentSpeak(L): BDI agents speak out in a logical computable language. In: Van de Velde W, Perram J W, eds. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, Proceedings of the 7th European workshop on Modelling autonomous agents in a multi-agent world: agents breaking away: agents breaking away, Eindhoven, The Netherlands. 1996. 42–55
- [44] Castanon-Puga, M., Castro, J., Flores-Parra, J. JT2FIS a java type-2 fuzzy inference systems class library for building object-oriented intelligent applications, In: L. N. in Computer Science (Ed.), *Advances in Soft Computing and Its Applications*, 2013, pp. 204-215.
- [45] Rodriguez-Ubeda, D., Flores, D.L., Palafox, L., Castanon-Puga, M., Gaxiola, C., Rosales, R. (2014). An Extended Reasoning Cycle Algorithm for BDI Agents, *International Journal of Recent Research in Mathematics Computer Science and Information Technology*, 1(2), 27–35.

-
- [46] Rodriguez-Ubeda, D., Flores, D.L., Palafox, L., Castanon-Pugaa, M., Gaxiola-Pacheco, C., Rosales, R. (2014). Constructing beliefs from fuzzy perceptions in BDI agents, Unpublished work.
- [47] Rodriguez-Ubeda, D., Flores, D.L., Palafox, L., Castanon-Pugaa, M., Gaxiola-Pacheco, C., Rosales, R. (2013). Ubiquitous computing to measure the accessibility of public places, *International Journal for Infonomics (IJI)*, Special Issue 1(1), 776–779.

Apéndices

Apéndice A

Anexos de la tesis

A.1. Instalaciones accesibles en espacios abiertos

Andadores

Para la construcción de andadores [40] establece las siguientes recomendaciones:

- Superficies con pavimentos antiderrapantes, firmes, uniformes y permeables.
- Colocación de barandal en ambos lados del andador.
- Pendiente máxima en rampas del 8 % con longitud máxima de 600 cm.
- Areas de descanso sombreadas a cada 3000 cm. máximo.
- Cambio de textura o tira táctil en cruces de andadores y descansos para orientar o indicar algún peligro a las personas ciegas y débiles visuales.
- Las entrecalles y rejillas tendrán una separación máxima de 1/2 pulgada (1.3 cm.).
- Colocar la vegetación a una distancia mínima de 75 cm.

- Cuidar que las ramas de los árboles tengan una altura mínima de 210 cm.
- Seleccionar árboles que no tengan raíces grandes que puedan romper el pavimento, que no tengan ramas quebradizas ni tiren hojas en exceso.
- Area libre de paso sin obstáculos.
- Borde lateral de 10 x 5 cm. mínimo sobre nivel de piso.
- En caso de pendientes en andadores, colocar descansos a cada 600 cm. del mismo ancho o mayor que el andador.
- Franja de 150 cm. de ancho para colocar mobiliario urbano (botes de basura, señalamientos) ubicada en descansos.

Áreas de descanso

Para la construcción de áreas de descanso [40] establece las siguientes recomendaciones:

- Proporcionar sombras con pérgolas o árboles.
- Cuidar que las ramas de los árboles tengan una altura mínima de 210 cm.
- Estarán debidamente señalizadas con el símbolo internacional de accesibilidad.
- Mismo nivel con cambio de texturas respecto al andador para orientación de personas ciegas y débiles visuales.
- Borde lateral de 10 x 5 cm. sobre nivel de piso.
- Barandal o setos.
- Ubicar en este espacio mobiliario urbano como bancas, teléfonos, botes de basura.
- Símbolo Internacional de Accesibilidad de manera vertical a una altura de 210 cm.

Banquetas

Para su construcción se establecen las siguientes recomendaciones:

- En ningún caso, las obras, reparaciones y ocupación de las banquetas serán obstáculo para el libre desplazamiento de personas con discapacidad.
- El mobiliario urbano (como postes, basureros, y otros) así como, los puestos ambulantes en banquetas, estarán a una distancia mínima de 100 cm. de las rampas peatonales para permitir su acceso.
- Los escombros, excavaciones y cualquier otro obstáculo para el tránsito en la vía pública serán protegidos con barreras y cambio de texturas o bordes en piso a una distancia mínima de 100 cm. para ser percibidos por personas ciegas y débiles visuales.
- Los pavimentos serán continuos, sin cambios bruscos, de acuerdo a las especificaciones de la norma.
- La diferencia de niveles entre pavimentos será como máximo de 0.6 cm. (1/4").
- Señalización con cambios de textura para orientar o indicar peligro a las personas ciegas y débiles visuales.
- Las entradas y rampas para autos serán diseñadas de tal forma que no sean obstáculo para el libre tránsito sobre las aceras.
- Se recomienda que los camellones estén libres de obstáculos y construcción para permitir la visibilidad hacia el sentido de la circulación vehicular.
- Para el acceso a los predios o inmuebles, el nivel de la banqueta no podrá ser modificado en un ancho de 120 cm. a partir del alineamiento hacia el arroyo vehicular.

- Área libre de obstáculos para utilizar la rampa.
- Área de descanso donde sea posible, con espacio para silla de ruedas y ubicación de mobiliario urbano.
- Pavimentos continuos con cambio de textura en rampas.
- En entradas de autos hacer rampas laterales con 6 % de pendiente sobre la banqueta.
- Espacio para mobiliario urbano o jardín.
- Las juntas en el pavimento y rejillas serán de un máximo de 1.3 cm.
- Señalización de rampa, poste u otro elemento urbano.
- Nivel de banqueta no modificado en un ancho de 120 cm. a partir del alineamiento hacia el arroyo vehicular.

Estacionamientos (abiertos o cerrados)

Se recomienda que cuando se utilicen pavimentos permeables se deberán considerar andadores de pavimento firme y antiderrapante hasta la entrada del lugar.

Además [40] dice que los estacionamientos públicos y privados deben destinar un cajón con dimensiones de 5.00 x 3.80 m. de cada veinticinco o fracción a partir de doce, para uso exclusivo de personas con discapacidad, ubicado lo más cerca posible de la entrada a la edificación o a la zona de elevadores, de preferencia al mismo nivel que éstas, en el caso de existir desniveles se debe contar con rampas de un ancho mínimo de 1.00 m. y pendiente máxima del 8 %. También debe existir una ruta libre de obstáculos entre el estacionamiento y el acceso al edificio.

También se establecen las siguientes especificaciones [40]:

- Ruta accesible libre de obstáculos hasta la entrada del lugar.
- Pasillo accesible al mismo nivel o con rampa pintada en color amarillo.
- Jardinera o tope (para evitar que los autos invadan el paso peatonal).
- Rampa con pendiente máxima del 8 % y longitud máxima de 600 cm., con piso antiderrapante cuando exista cambio de nivel.
- Símbolo Internacional de Accesibilidad de manera vertical a una altura de 180 cm.
- Símbolo Internacional de Accesibilidad en piso.
- Tope de rueda.

Pasos peatonales

Para los pasos peatonales se hacen las siguientes recomendaciones [40]:

- Superficies antiderrapantes, firmes, uniformes y permeables.
- Señales con cambio de textura en piso para indicación a ciegos y débiles visuales.
- Evitar entrecalles y rejillas con separación mayor de 1.3 cm.
- La construcción de rampas será consistente a lo largo de toda la ciudad.
- Isla (paso) al mismo nivel que la calle.
- Poste o barandal.
- Cambio de textura o pavimento.
- Camellón.

- Dispositivo sonoro que indique cambio de señal.
- Paramento de la construcción u obstáculo.
- Rampa con pendiente máxima del 8 %.
- Símbolo Internacional de Accesibilidad en rampa.
- Zona ajardinada o para ubicar mobiliario urbano.
- Líneas de cruce peatonal.
- Raya de alto en pavimento.

Rampas en banquetas con esquina curva

Las rampas peatonales que se proyecten en las edificaciones deben cumplir con las siguientes condiciones de diseño [40]:

- Alinear una rampa frente a la otra.
- La pendiente será de 6 % en banquetas nuevas o cuando el peralte sea mayor a 12 cm. Se podrá utilizar hasta el 10 % cuando el peralte sea menor a 12 cm.
- Deben tener una pendiente máxima de 8 % con las anchuras mínimas y las características que se establecen para las escaleras y la anchura mínima en edificios para uso público no podrá ser inferior a 1.20 m.
- Se debe contar con un cambio de textura al principio y al final de la rampa como señalización para invidentes (ciegos y débiles visuales); en este espacio no se colocará ningún elemento que obstaculice su uso.

- Siempre que exista una diferencia de nivel entre la calle y la entrada principal en edificaciones públicas, debe existir una rampa debidamente señalizada.
- Las rampas con longitud mayor de 1.20 m. en edificaciones públicas, deben contar con un borde lateral de 0.05 m. de altura, así como pasamanos en cada uno de sus lados, debe haber uno a una altura de 0.90 m. y otro a una altura de 0.75 m.
- La longitud máxima de una rampa entre descansos será de 6.00 m.
- El ancho de los descansos debe ser cuando menos igual a la anchura reglamentaria de la rampa.
- Las rampas de acceso a edificaciones contarán con un espacio horizontal al principio y al final del recorrido de cuando menos el ancho de la rampa.
- Los materiales utilizados para su construcción deben ser antiderrapantes.
- Rampa con superficie firme y antiderrapante.
- Espacio para colocar señalización e impedir que los autos suban a la banqueta.
- Líneas de cruce peatonal.
- Área libre de obstáculos para utilizar la rampa.
- Pendiente lateral en rampa máximo del 10 %.
- Los criterios de diseño y construcción de rampas estarán de acuerdo con las dimensiones y peralte de las banquetas, pero siempre respetando un ancho mínimo de 100 cm.
- Raya de alto.

Rampas en banquetas con esquina en abanico

Las rampas se colocarán en los extremos de las calles y deben coincidir con las franjas reservadas en el arroyo para el cruce de peatones. Tendrán un ancho mínimo de 1.00 m. y pendiente máxima del 10 %, así como cambio de textura para su identificación por invidentes y débiles visuales. Deben estar señalizadas y sin obstrucciones para su uso, al menos un metro antes de su inicio.

Además establecen que debe cumplir las siguientes especificaciones [40]:

- Superficies antiderrapantes, firmes, uniformes, permeables y libre de obstáculos.
- Se deberán hacer los trabajos correspondientes al drenaje para evitar que las rampas presenten acumulación de agua.
- En las guarniciones donde converjan las rampas, se podrá colocar un elemento de aviso como señalización con el Símbolo Internacional de Accesibilidad o algún dispositivo diverso, tales son los indicadores de carril (vialetas y botones), esto con el fin de evitar la invasión de la rampa por los vehículos.
- La superficie debe ser antiderrapante, firme, uniforme, permeable y libre de obstáculos.
- Las diferencias de nivel que se forman en los bordes laterales de la rampa principal, se resolverán con rampas con pendiente máxima del 6 %. En estos casos, se podrá utilizar en rampas laterales una pendiente variable de acuerdo a las necesidades del espacio, respetando el ancho mínimo requerido para una persona en silla de ruedas.
- Cuando así lo permita la geometría del lugar, estas rampas se resolverán mediante alabeo de las banquetas hasta reducir la guarnición al nivel de arroyo.
- Las guarniciones que se interrumpen por la rampa, se rematarán con bordes boleados

con un radio mínimo de 25 cm. en planta; las aristas de los bordes laterales de las rampas secundarias deben ser boleadas con un radio mínimo de 5 cm.

- No se ubicarán las rampas cuando existan registros, bocas de tormenta, coladeras o cuando el paso de peatones esté prohibido en el cruce.
- Las rampas deben señalizarse con una franja de pintura color amarillo de 10 cm. en todo su perímetro.
- Se permiten rampas con solución en abanico en las esquinas de las calles sólo cuando la Administración lo autorice.
- Se permiten rampas paralelas a la banqueta cuando el ancho de la misma sea de por lo menos 200 cm.

Nota: Solo se podrá utilizar hasta el 10 % de pendiente cuando el peralte sea menor a 12 cm.

Rampas en banquetas con esquina ochavada

Las rampas se colocarán en los extremos de las calles y deben coincidir con las franjas reservadas en el arroyo para el cruce de peatones. Tendrán un ancho mínimo de 1.00 m. y pendiente máxima del 10 % así como cambio de textura para identificación de ciegos y débiles visuales. Deben estar señalizadas y sin obstrucciones para su uso, al menos un metro antes de su inicio.

- La pendiente será del 6 % en banquetas nuevas o cuando el peralte sea mayor a 12 cm.
- Ver recomendaciones de pasos peatonales.
- Rampa con superficie firme y antiderrapante.

- Textura y color contrastante con banqueta y calle.
- Señalización con pintura amarilla en el pavimento para indicar área peatonal o giro de auto.
- Líneas de cruce peatonal.
- Paramento de la construcción u obstáculo.
- Pendiente lateral en rampa máximo del 10 %.
- Raya de alto.

Nota: Solo se podrá utilizar hasta el 10 % de pendiente cuando el peralte sea menor a 12 cm.

A.2. Instalaciones accesibles en espacios cerrados

Vestíbulos

En general [40] establece como recomendación el uso de pisos antiderrapantes. En lugares de uso público los vestíbulos permitirán el acercamiento y maniobra de puertas a personas en silla de ruedas.

Especificaciones:

- Área libre para silla de ruedas.
- Cuando la puerta abra hacia el usuario, la mocheta del lado de la chapa tendrá como mínimo 60 cm.
- Cuando la puerta abra en sentido opuesto al usuario, la mocheta del lado de la chapa tendrá como mínimo 30 cm.

A.3. Elementos arquitectónicos y urbanos

A.3.1. Elementos

Circulaciones horizontales

Para éste elemento [40] hace las siguientes recomendaciones:

- La superficie será antiderrapante, pero no rugosa.
- Las entrecalles y juntas tendrán una separación máxima de 1.3 cm.(1/2”).
- Tiras táctiles de 20 cm. de ancho en intersección de pasillos y/o vestíbulos, o cambio de textura en pisos.
- Señalización visual indicando la salida.
- Evitar el uso de materiales muy brillantes o aquellos que reflejen intensamente la luz.
- Se colocará pasamanos de ayuda a personas con movilidad y visión limitada siempre y cuando no invadan el ancho mínimo de circulación.
- En los muros no utilizar acabados rugosos, no dejar las esquinas con cantos vivos.
- El ancho mínimo para pasillos libre de barreras físicas será de 120 cm.
- En edificios para uso público, cuando en la planta baja se tengan diferentes niveles se deben dejar rampas para permitir el tránsito de personas con discapacidad en áreas de atención al público. Esta condición debe respetarse en todos los niveles de los edificios para la salud, tiendas departamentales, tiendas de autoservicio, centros comerciales y en edificios públicos.

- En edificios públicos los pisos de los pasillos deben ser de materiales antiderrapantes, deben contar con rampas y no tener escalones; se utilizarán tiras táctiles o cambios de textura para orientación de invidentes (ciegos y débiles visuales) y tendrán un ancho mínimo de 1.20 m.
- Los pasillos deben estar libres de cualquier obstáculo.
- Las circulaciones peatonales en espacios exteriores tendrán un ancho mínimo de 120 cm., los pavimentos serán firmes y antiderrapantes, con cambios de textura en cruces o descansos para orientación de invidentes (ciegos y débiles visuales).
- Las circulaciones horizontales mínimas, interiores o exteriores, se incrementarán 60 cm. en su anchura por cada 100 usuarios adicionales o fracción.
- Las circulaciones horizontales no deben disminuirse en ningún punto.
- Puerta con abatimiento al frente o corrediza.
- Los elementos fijos a la pared a una altura menor de 250 cm. podrán sobresalir hasta 10 cm.
- Cambios de piso o tapajuntas tendrán una diferencia máxima de 1.3 cm. (1/2 pulgada).

Elementos que sobresalen de fachadas

El mobiliario y señalización que sobresale de los paramentos debe contar con elementos de alerta y detección en los pavimentos, como cambios de textura; el borde inferior del mobiliario fijo a los muros o de cualquier obstáculo puede tener una altura máxima de 0.68 m. y no debe reducir la anchura mínima de la circulación peatonal.

Recomendaciones [40]:

- Los elementos que sobresalen no deberán disminuir la circulación mínima de 120 cm.
- Se podrán utilizar otros elementos para indicación a ciegos y débiles visuales como macetas, jardineras, etc.
- Cambio de textura en piso o borde de 5 cm. de altura a la proyección del objeto para indicación a ciegos y débiles visuales.
- Detectar el elemento soportante, con bastón, antes de que la persona toque el elemento.

Elevadores

Los edificios públicos que requieran de la instalación de elevadores para pasajeros, tendrán al menos un elevador con capacidad para transportar simultáneamente a una persona en silla de ruedas y a otra de pie.

En edificios de uso público que por su altura no es obligatoria la instalación de elevadores para pasajeros, se debe prever la posibilidad de instalar un elevador para comunicar a los niveles de uso público.

Recomendaciones de acuerdo a [40]:

- Ubicación cercana a la entrada principal.
- Señalizar ruta accesible desde la entrada hasta el elevador.
- Señalización en braille y alto relieve en uno de los lados de las puertas a 120 cm. de altura del nivel de piso.
- Tiempo de apertura de puertas, 15 segundos, y exactitud en la parada con respecto al piso.
- Botones de emergencia en la parte inferior del tablero diferentes a los botones normales.

- Identificación sonora y luminosa en el interior para indicar el piso.
- Los marcos de las puertas, en todos los pisos deben ser de color contrastante con el de la pared.
- Piso antiderrapante.
- Cuando no sea obligatorio su uso, se dispondrán las especificaciones técnicas y de diseño que faciliten la instalación de un elevador adaptado.
- Barandales a 75 y 90 cm. de altura en los tres lados, con una separación de 5 cm. de la pared.
- Botón sensitivo y señalización en braille y alto relieve.
- Separación máxima de 2 cm. entre el piso del elevador y el nivel del piso del exterior.
- Ancho 4 libre de puerta 100 cm.
- Ojo eléctrico a 20 cm. de altura para que impida que se cierre la puerta al pasar una persona en silla de ruedas.
- Área libre de obstáculos.
- El nivel del elevador debe coincidir con el nivel de piso exterior.

Entradas

En el acceso a cualquier edificio o instalación, exceptuando las destinadas a vivienda, se debe contar con un espacio al mismo nivel entre el exterior y el interior de al menos 1.50 m. de largo, frente a las puertas para permitir la aproximación y maniobra de las personas con discapacidad.

Recomendaciones para la construcción de entradas [40]:

- Acceso a cubierto.
- Dar una pendiente del 2 % en el umbral de la puerta para evitar encharcamientos y entrada de agua al interior.
- De existir rejillas, la separación máxima será de 1.3 cm.
- Si la entrada principal no es accesible, indicar con una placa la ubicación de la entrada accesible más próxima.
- Ver especificaciones de puertas.
- Área libre al exterior e interior, al mismo nivel, para aproximarse y maniobrar con un mínimo de 150 x 150 cm.
- Cambio de textura en piso para señalar la puerta.
- Timbre a una altura máxima de 120 cm y número oficial claramente legible a 2000cm. de distancia y en braille.

Escaleras

En las edificaciones de uso público en donde las escaleras constituyen el único medio de comunicación entre los pisos, deben estar adaptadas para su uso por personas con discapacidad y de la tercera edad. Para ello las escaleras deben cumplir al menos con las siguientes especificaciones [40]:

- Las superficies de los pisos serán firmes y antiderrapantes. En escaleras exteriores, dar una pendiente máxima del 2 % en las huellas para evitar encharcamientos.

- Cuando exista circulación o paso debajo de las escaleras, ubicar alguna barrera o elemento de señalización para ciegos y débiles visuales (para evitar que se golpeen), colocado a partir de una proyección localizada a 200 cm. bajo la rampa de escalera.
- Debe existir un sistema de señalización y sonido de emergencia con luces intermitentes en rojo y amarillo a una altura mínima de 210 cm. del piso.
- Cuidar que los remates “naríz” del escalón sean boleados u ochavados y no sobresalgan más de 3.5 cm.
- Los pasamanos estarán firmemente asegurados, a una altura de 90 y 75 cm. del piso, prolongarse 30 cm. después del primer y último escalón y rematar en curva.
- Ver especificaciones sobre barandales.
- Barandal con pasamanos en ambos lados.
- Cambio de textura en piso en el arranque y a la llegada de la escalera.
- Pisos firmes y antiderrapantes.
- Contraste entre huellas y peraltes.
- Cambio de textura a una distancia de 75 cm. al principio y al final de la escalera para señalización de ciegos y débiles visuales.
- Barandal a ambos lados, firmemente asegurado, sin obstrucciones para la mano deberán continuar 30 cm. al principio y final de la escalera, con indicaciones del número del piso en sistema braille a una altura de 120 cm. del nivel de piso.
- Peralte de color contrastante con la huella.
- Piso o tira antiderrapante en color contrastante (puede ser una loseta).

- Protección para personas ciegas y débiles visuales.
- Cambio de textura en piso o borde de 5 cm. de altura para indicación de riesgo a ciegos y débiles visuales.

Pisos / acabados y detalles

Los materiales que se utilicen en pisos interiores, así como pavimentos exteriores, deberán ser firmes, estables y antiderrapantes o dejar andadores con estas características. La separación máxima de juntas será de 1.3 cm.

- Los acabados en pisos interiores y pavimentos exteriores, deberán ser firmes, estables y antiderrapantes.
- En exteriores contarán con pendientes para evitar encharcamientos. Si se utilizan materiales como grava, piedra o adopasto se contará con andadores de 120 cm. de ancho mínimo en material firme y antiderrapante de acuerdo a la norma.
- En circulaciones se evitarán materiales brillantes o que reflejen intensamente la luz.
- La pendiente máxima transversal será del 2
- Las superficies tienen que estar al nivel, la separación máxima de juntas será de 1.3 cm.
- Los cambios de nivel de hasta 0.6 cm. pueden ser verticales.
- Los cambios mayores de 0.6 cm. y menores de 1.5 cm. deberán contar con un declive máximo de dos alturas.
- Cuando se utilicen alfombras o tapetes, deberán estar perfectamente sujetos y con altura del pelo no mayor de 1.3 cm.

- Las rejillas deberán tener una separación máxima de 1.3 cm. Si son de diferente espaciamiento, el mayor debe de ser perpendicular a la circulación dominante del recorrido.

Puertas

Las puertas de acceso, intercomunicación y salida deben tener una altura mínima de 2.10 m. y una anchura libre que cumpla con la medida de 0.60 m. por cada 100 usuarios o fracción. En el acceso a cualquier edificio o instalación, exceptuando las destinadas a vivienda, se debe contar con un espacio al mismo nivel entre el exterior y el interior de al menos 1.50 m de largo frente a las puertas para permitir la aproximación y maniobra de las personas con discapacidad.

Las manijas de puertas destinadas a las personas con discapacidad serán de tipo palanca o de apertura automática. Cuando se utilicen puertas giratorias o de torniquete, el vestíbulo debe contar con una puerta convencional al lado destinada a las personas con discapacidad.

Las puertas de vidrio deben contar con vidrio de seguridad templado que cumplan con la Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI o contar con vidrios o cristales alambrados.

Las puertas de vidrio o cristal en cualquier edificación deben contar con protecciones o estar señalizadas con elementos que impidan el choque del público contra ellas.

La construcción de puertas tiene las siguientes recomendaciones [40]:

- Los umbrales deberán estar al mismo nivel entre el interior y el exterior.
- Las puertas deberán abrir fácilmente.
- Puertas o marcos en colores de alto contraste, en relación con los muros.
- En puertas de cristal éste será inastillable y tendrá algún elemento contrastante: barra, manija, calcomanía a la altura de los ojos de una persona sobre silla de ruedas.

- Cuando se utilicen mecanismos de cierre automático, se ajustarán para mantener la puerta completamente abierta al menos 5 segundos.
- En todos los casos las puertas tendrán zoclo a todo lo ancho de la puerta.
- Ver recomendaciones sobre manijas.
- Ancho mínimo libre de puerta 100 cm. Cuando sea doble abatimiento por lo menos una debe cumplir con la especificación.
- Manija tipo palanca en ambos lados de la puerta, y en color contrastante.
- Herraje accesible para abrir y cerrar por ambos lados.
- Colocar elementos de señalización o cambios de textura en el pavimento para indicar el acceso a ciegos y débiles visuales.
- La parte inferior de las puertas deberán tener un “zoclo de protección” de al menos 20.5 cm. mínimo.

Rampas

Los edificios y espacios abiertos de uso público deberán contar con rampas para la comunicación entre los diferentes niveles de acceso al público y estar debidamente señalizados. Todos los edificios de uso público deberán proporcionar alternativas de comunicación vertical (elevadores y/o rampas) a las personas con discapacidad. Siempre que exista una diferencia de nivel entre la calle y la entrada principal, deberá existir una rampa debidamente señalizada.

Recomendaciones:

- En exteriores evitar la acumulación de agua en descansos, al inicio y al final de las rampas.

- IDEAL: Si la pendiente es del 6 %, la longitud máxima será de 600 cm.
- Si la pendiente es del 5 %, la longitud máxima será de 1000 cm.
- Si la pendiente es del 8 %, la longitud máxima será de 600 cm.
- El ancho de los descansos deberá ser igual o mayor al ancho de la rampa.
- Cambio de textura al principio y final de la rampa para señalización a ciegos y débiles visuales. En este espacio no se colocará mobiliario urbano ni otro elemento. Estas áreas deberán estar libres de encharcamiento.
- Ancho mínimo de 120 cm. cuando exista otra alternativa de circulación vertical (elevador) y un ancho mínimo de 150 cm. cuando sea la única alternativa de circulación vertical.
- Piso firme uniforme y antiderrapante. Pendiente adecuada del 6 % con longitud máxima de 600 cm. que se podrá incrementar hasta el 8 %.
- Bordes laterales de 5 cm. de altura en rampas.
- Barandales a ambos lados en rampas, uno a 90 cm. y otro a 75 cm. de alto para niños, personas de talla baja y en silla de ruedas.

Nota: La pendiente (z) es la relación entre la altura de la pendiente (x) y la longitud (y) y se expresa en %. $Z = x/y$, [40].

Ejemplo: Altura $x = 20$ cm. Longitud $y = 250$ cm. Pendiente $z = x/y = 20/250 = 0.08$
Es decir: La pendiente es del 8 %.

A.3.2. Accesorios

Barandales y pasamanos

Las escaleras y escalinatas en exteriores con ancho hasta de 10.00 m. en explanadas o accesos a edificios públicos, deben contar con barandal provisto de pasamanos en cada uno de sus lados, o a cada 10.00 m. o fracción en caso de anchos mayores.

Recomendaciones:

- En lugares con mayor afluencia de niños, colocar uno a una altura de 90 cm. y otro a una altura de 75 cm.
- En los pasamanos marcar números en alto relieve y en braille para señalar en que piso se ubica.
- Color contrastante con la pared.
- Sin obstrucciones para la mano a lo largo del pasamanos.
- Sin bordes agudos, estos deberán redondearse.
- Cuando se fijen en muro y el acabado sea rugoso, colocar una base de protección para los nudillos.
- Los materiales recomendables son metal y madera.
- Las barras rectangulares solo podrán usarse en elevadores.
- Diámetro de 3.2 a 3.8 cm. sin obstrucciones para la mano a todo lo largo, deberá continuarse 30 cm. al inicio y al final, y sus terminaciones deben curvarse.
- Diseño del barandal que facilite asirlo con la mano, para lo cual el diámetro será de 3.2 a 3.8 cm. (1 y 1/4" a 1 y 1/2").

- Fuertemente asegurados en muro o piso para soportar un peso de hasta 120 kg. aplicado en cualquier dirección.
- En escaleras y rampas, continuar los barandales 30 cm. y curvar sus terminaciones.

Barras de apoyo

Recomendaciones:

- Las barras de apoyo se fijarán solamente en muros o pisos, no sobre cancelas.
- Deberán utilizarse en excusados, mingitorios y regaderas.
- Asir continuamente.
- Tubo de acero inoxidable, cromado o de aluminio de 38 mm. (1 1/2") de diámetro.
- Barra de apoyo de tubo de acero inoxidable.
- Solera de acero inoxidable soldada a tubo con perforaciones para recibir tornillos de acero inoxidable con taquetes para su fijación a piso.
- Tapa a presión de acero inoxidable.
- Tornillo de acero inoxidable para taquete expansivo, colocación en piso o muro.

A.3.3. Mobiliario

Bebederos

Todas las edificaciones, excepto de habitación y alojamiento, contarán con bebederos o con depósitos de agua potable en proporción de uno por cada treinta trabajadores o fracción

que exceda de quince, o uno por cada cien alumnos, según sea el caso; se instalará por lo menos uno en cada nivel con una altura máxima de 78 cm. para su uso por personas con discapacidad, niños y personas de talla baja. Recomendaciones:

- Ubicar los bebederos fuera de la circulación.
- Colocar el maneral de preferencia a un lado de la salida de agua.
- Cuando solo exista un bebedero por nivel, colocarlo a la altura que permita su uso a personas en silla de ruedas. Poner control de agua: alto-bajo.
- Colocar un bebedero a una altura de entre 73 y 78 cm. para usuarios en silla de ruedas, niños y personas de talla baja.
- Cambio de textura en el piso para indicación a ciegos y débiles visuales.
- Manerales tipo palanca.
- Área libre de obstáculos y al mismo nivel.
- Área de aproximación para personas en silla de ruedas.

Mostradores y taquillas

En lugares de uso público donde se proporcione atención, información, recepción de pagos o similares, se contará al menos con un módulo o taquilla a partir de cinco, con una altura máxima de 0.78 m. para uso por personas en silla de ruedas, niños y personas de talla baja, la cual será accesible desde la vía pública y el estacionamiento.

Recomendaciones:

- El área de taquillas debe ser accesible desde la vía pública y estacionamiento.

- Instalar por lo menos una taquilla a una altura inferior de 73 cm. máximo y superior de 78 a 80 cm. máximo del nivel del piso terminado para usuarios de silla de ruedas, personas de talla baja y niños.
- Instalar por lo menos una caja con estas medidas, en bancos, casas de cambio, tesorerías, módulos de información, etcétera.
- Área libre de obstáculos y al mismo nivel de 150 x 150 cm.
- Símbolo Internacional de Accesibilidad.
- Zoclo de protección de 20.5 cm. mínimo.

Señalización

Se establecen las características de accesibilidad a personas con discapacidad en áreas de atención al público en los apartados relativos a circulaciones horizontales, vestíbulos, elevadores, entradas, escaleras, puertas, rampas y señalización.

El Símbolo Internacional de Accesibilidad se utilizará en edificios e instalaciones de uso público para indicar entradas accesibles, recorridos, estacionamientos, rampas, baños, teléfonos y demás lugares adaptados para personas con discapacidad.

Recomendaciones:

- Utilizar iconografía en lugares de uso público.
- Las letras y números serán en alto relieve acompañados en sistema braille.
- La señalización deberá tener acabado mate y contrastar con el fondo o superficie base.

- Se ubicará en el muro adyacente a la puerta, sin que ésta lo oculte.
- En lugares de uso público intenso como aeropuertos, centros comerciales, hospitales, colocar un directorio con plano del lugar, indicando rutas y áreas accesibles.
- Figura en color blanco.
- Fondo azul pantone No. 294.
- Lámina negra, calibre 14, y acabado en pintura color blanco reflejante.
- Tornillo con tuerca y rondana plana de presión.
- Tubo galvanizado de 2" (51 mm.) de diámetro.
- Leyenda indicando la sanción correspondiente de acuerdo a la Ley.

NOTA: El Símbolo Internacional de Accesibilidad como señalización en general se colocará a una altura de 210 cm. a excepción de la señalización en estacionamiento, que tendrá una altura de 180 cm.

Teléfonos públicos

En áreas de teléfonos públicos se debe colocar al menos un teléfono a una altura de 1.20 m. para que pueda ser utilizado por personas en silla de ruedas, niños y personas de talla baja y en lugares de uso masivo colocar un teléfono de teclado y pantalla.

Recomendaciones:

- Ubicar los teléfonos fuera de las circulaciones peatonales.
- En exteriores ubicarlos preferentemente en áreas de descanso y paradas de autobús.

- Indicar con cambio de textura y color en la superficie del piso para identificación de ciegos y débiles visuales.
- Colocar un teléfono para el uso de personas en silla de ruedas, personas de talla baja y niños con altura de 120 cm. al botón accionable de mayor altura.
- Incluir un elemento de apoyo para colgar muletas o bastón.
- Colocar un teléfono de teclado para el uso de personas sordas, en el interior de lugares de uso masivo como hospitales, centros comerciales, dependencias oficiales, etcétera.
- Tira táctil o cambio de textura en piso para señalamiento de ciegos y débiles visuales.
- Símbolo Internacional de Accesibilidad.
- Gancho para colgar muletas o bastón.
- Poste o base en exteriores, empotrado en muros en interiores.

Apéndice B

Cuestionarios

ENTREVISTA DE PREFERENCIAS DE LOS VISITANTES

Edad: _____ Sexo: M ó F

Inf. De control (Nivel d450_____)

INSTRUCCIONES: HAGA UNA MARCA SOBRE LA LÍNEA DE CADA REACTIVO EXPRESANDO SU PREFERENCIA SOBRE LAS OPCIONES QUE SE MUESTRAN. EL MENOR NIVEL DE PREFERENCIA SE EXPRESA A LA IZQUIERDA Y EL MAYOR NIVEL DE PREFERENCIA A LA DERECHA.

A.- Para ingresar al edificio exprese su nivel de preferencia por los siguientes medios:

La rampa ●—————●

Los escalones ●—————●

B.- Para acceder a pisos superiores exprese su nivel de preferencia por los siguientes medios:

La rampa ●—————●

Las escaleras ●—————●

El elevador ●—————●

C.- En caso de que tuviera que caminar por la rampa, exprese su nivel de preferencia en utilizar los siguientes apoyos:

Caminar sin ninguna ayuda ●—————●

Utilizando el pasamanos ●—————●

Con ayuda de otra persona ●—————●

Utilizar un apoyo adicional ●—————●

(bastón, andadera, silla de ruedas)

D.- En caso de que tuviera que utilizar las escaleras, exprese su nivel de preferencia para utilizar los siguientes apoyos:

Sin ninguna ayuda ●—————●

Utilizando el pasamanos ●—————●

Con ayuda de otra persona ●—————●

Utilizar un apoyo adicional ●—————●

(bastón, andadera)

Figura B.1: Preguntas sobre preferencias de locomoción

ENTREVISTA DE PERCEPCIÓN DE ACCESIBILIDAD DE LOS VISITANTES

Edad: _____ Sexo: M ó F

Inf. De control (Nivel d450____)

INSTRUCCIONES: HAGA UNA MARCA SOBRE LA LÍNEA DE CADA REACTIVO EXPRESANDO EL NIVEL DE COMODIDAD QUE USTED PERCIBE ACERCA DE CADA UNO DE LAS RUTAS DE ACCESO. EL MENOR NIVEL DE PREFERENCIA SE EXPRESA A LA IZQUIERDA Y EL MAYOR NIVEL DE PREFERENCIA A LA DERECHA.

A.- Para ingresar al edificio exprese el nivel de comodidad que le asigna a los siguientes medios:

La rampa ●—————●

Los escalones ●—————●

B.- Para acceder a pisos superiores exprese el nivel de comodidad que le asigna a los siguientes medios:

La rampa ●—————●

Las escaleras ●—————●

El elevador ●—————●

Figura B.2: Preguntas sobre accesibilidad

ENTREVISTA DE PERCEPCIÓN DE ACCESIBILIDAD DE LOS VISITANTES

Edad: _____ Sexo: M ó F

Inf. De control (Nivel d450____)

INSTRUCCIONES: HAGA UNA MARCA SOBRE LA LÍNEA DE CADA REACTIVO EXPRESANDO EL NIVEL DE COMODIDAD QUE USTED PERCIBE ACERCA DE CADA UNO DE LAS RUTAS DE ACCESO. EL MENOR NIVEL DE PREFERENCIA SE EXPRESA A LA IZQUIERDA Y EL MAYOR NIVEL DE PREFERENCIA A LA DERECHA.

A.- Para ingresar al edificio exprese el nivel de comodidad que le asigna a los siguientes medios:

La rampa ●—————●

Los escalones ●—————●

B.- Para acceder a pisos superiores exprese el nivel de comodidad que le asigna a los siguientes medios:

La rampa ●—————●

Las escaleras ●—————●

El elevador ●—————●

C.- Marque la ruta que prefiere para ingresar al edificio:

Rampa

Escalones

Figura B.3: Preguntas sobre accesibilidad aplicadas a grupo de control