



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Modelado Lógico del Aparato Cognitivo para el
Razonamiento en la Toma de Decisiones Utilizando
Answer Set Programming

Tesis para obtener el título de:
Ingeniero en Ciencias de la Computación

Presenta:
Sergio Arturo Arzola Herrera

Directores de tesis:
Dra. Claudia Zepeda Cortés, BUAP
Dr. Mauricio Osorio Galindo, UDLAP

H. Puebla de Zaragoza, Pue. Enero de 2013

Agradecimientos

Este espacio lo quiero dedicar para agradecer a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta en la realización de este trabajo. En primer lugar agradezco a mis asesores y amigos, la Dra. Claudia Zepeda y el Dr. Mauricio Osorio, por haberme brindado su apoyo y ayuda desde un inicio. Sobretudo quiero agradecer su paciencia y su guía que fueron muy importantes en la realización de este trabajo. Estoy también agradecido a la Dra. Stefania Constanini de la Universidad de LÁquila, Italia y al Dr. Michael Gelfond de la Universidad de Texas, EUA por todas sus aportaciones y contribuciones brindadas.

También le doy mi agradecimiento a los doctores Juan Manuel Calleros y José Luis Carballido por su apoyo brindado.

Gracias a todos mis amigos que me acompañaron en esta etapa, así como todos los que conocí durante el proceso: Roy, Ale, Esteban, Daniel, Pepe, Jovani, Angélica, Fili, Dark y July que de alguna u otra forma me ayudaron :).

No puedo terminar sin agradecer a mi familia, mis padres y mis hermanas Daphne y Tania, por su apoyo incondicional en todo.

Gratitud a todas las personas que confiaron en mí y me brindaron su apoyo.

Índice general

Agradecimientos	2
1. Motivación, Introducción y Objetivos	6
1.1. Motivación	6
1.2. Introducción	7
1.3. Objetivos	9
2. Marco Teórico	11
2.1. Inteligencia Artificial	12
2.1.1. Inteligencia Artificial Fuerte	12
2.1.2. Agente Cognitivo	13
2.1.3. Planificación Automática	14
2.2. Answer Set Programming	18
2.2.1. Sintaxis	18
2.2.2. Semántica Estable	20
2.2.3. Answer Set Planning	21
2.3. Arquitectura Cognitiva	22
2.3.1. Arquitectura Cognitiva en Ciencias Cognitivas	22
2.3.2. Arquitectura Cognitiva en Inteligencia Artificial	22
2.3.3. Capacidades de las Arquitecturas Cognitivas dentro de Inteli- gencia Artificial	23
2.3.4. Conocimiento en Arquitecturas Cognitivas	28
2.3.5. Panorama Actual	28
2.4. Neurociencia	30

2.4.1.	¿Qué es la Neurociencia?	30
2.4.2.	Niveles de Estudio de las Neurociencias	31
2.4.3.	Estudios de la Neurociencia	32
2.5.	Logística	48
2.5.1.	¿Qué es Logística?	48
2.5.2.	Toma de Decisiones Logísticas	48
2.5.3.	Evaluación de Técnicas de Solución	49
2.5.4.	Ejemplo: Gestión de Flotas de Vehículos	50
3.	CABEN: Arquitectura Neurocognitiva Basada en Experiencias	51
3.1.	Arquitectura Neurocognitiva	51
3.2.	Revisión General de CABEN	52
3.3.	Objetivos	52
3.4.	Descripción de CABEN	53
3.4.1.	Módulo de Percepción	54
3.4.2.	Módulo de Intención	56
3.4.3.	Módulo de Atención	57
3.4.4.	Módulo de Consciencia	59
3.4.5.	Módulo de Experiencia	60
3.4.6.	Módulo de Predicción	62
3.4.7.	Módulo de Procesamiento Asociativo y Evaluativo	64
3.4.8.	Módulo de Acción	65
3.5.	Funcionamiento General de CABEN	66
3.6.	Capacidades, Ventajas y Limitantes	71
3.6.1.	Capacidades	71
3.6.2.	Ventajas	73
3.6.3.	Limitantes	74
4.	Toma de Decisiones basada en Planes, Experiencia y Emoción	76
4.1.	Híbrido de Planificación Clásica y Reactiva	76
4.1.1.	Enfoque Clásico	77
4.1.2.	Enfoque Reactivo	77
4.1.3.	Aprendizaje utilizando Experiencia	79

4.1.4. Variable del Marcador Somático	79
4.2. CABEN basada en Planes	80
5. Caso de Estudio:	
Gestión de Flotas de Vehículos	82
5.1. Descripción del Problema	82
5.2. Solución usando la Toma de Decisiones basada en Planes	84
5.2.1. Enfoque Clásico	84
5.2.2. Enfoque Reactivo	88
5.3. Análisis de la Solución	95
6. Conclusiones y Trabajo Futuro	96
6.1. Trabajo Futuro	97
A. Código	98
B. Resultado	106
Bibliografía	111

Capítulo 1

Motivación, Introducción y Objetivos

1.1. Motivación

En el año 2009 obtuve una beca para asistir a un evento llamado “Ciudad de las ideas” [83], el cual es un festival de mentes brillantes, cuyo lema es “No creas todo lo que piensas”. En este evento tuve la oportunidad de presenciar grandes ponentes a nivel mundial hablando sobre sus ideas. Este evento abrió un nuevo panorama sobre lo que la ciencia está investigando. Después de poder asistir tres años consecutivos, del 2009 al 2011, los temas que más me llamaron la atención fueron los relacionados con el estudio del cerebro, es decir, la neurociencia. Donde se me ocurrió mapear los nuevos descubrimientos neurocientíficos y aplicarlos a las ciencias de la computación, la cual es mi área de formación académica. Así me surgió la idea de desarrollar un modelo del aparato cognitivo, es decir del cerebro a nivel de cognición, tomando de referencias los estudios neurocientíficos, para usar el modelo en un agente inteligente, dentro del área de inteligencia artificial empleando las técnicas de programación lógica, de manera más específica Answer Set Programming.

1.2. Introducción

Hace algunos años, el ayuntamiento de Monza , Italia, se prohibió a los dueños de mascotas tener a los peces de colores en peceras ovaladas, el argumento era, que es cruel mantener un pez en una pecera curvada, por que así los peces al mirar tienen una visión distorsionada de la realidad. La vista de los peces no es la misma que la nuestra, pero aún así se pueden formular leyes científicas que gobiernan el movimiento de los objetos que ellos observan afuera del recipiente. Por ejemplo, debido a la distorción, un objeto que se mueve libremente puede ser observado por el pez que se mueve en una trayectoria curva. Aún así, el pez puede formular leyes desde su marco de referencia distorcionado y será cierto. Estas leyes pueden ser más complicadas que las de nosotros, pero la simplicidad es cuestión de gusto. De esta manera Hawking y Mlodinow [55] llegaron a una conclusión: No existe una teoría independiente del concepto de realidad. En cambio, se adopta un punto de vista que se denomina modelo dependiente del realismo: la idea que una teoría física o una imagen del mundo es un modelo (generalmente matemático), y un conjunto de reglas que conectan los elementos en el modelo a las observaciones provee un marco con el cual interpretar la ciencia moderna.

Así, dado que el realismo depende de un punto de vista, lo que se conoce acerca de la física moderna la hace difícil de defender. Por ejemplo, de acuerdo a los principios de mecánica cuántica, la cual es una descripción precisa de la naturaleza, una partícula no tiene ni una posición definida ni una velocidad definida hasta que tales cantidades sean medidas por un observador.

Los electrones son un modelo útil para explicar las observaciones como las trayectorias dentro de una cámara de nube y puntos de luz en un tubo de televisión. Los quarks, que no se pueden ver, son un modelo para explicar las propiedades de los protones y neutrones en el núcleo de un átomo.

Un modelo [55] es un buen modelo si:

- Es elegante.
- Contiene pocos elementos arbitrarios o ajustables.
- Explica y está de acuerdo con todas las observaciones existentes.

- Hace detalladas predicciones acerca de las observaciones del futuro que puedan refutar el modelo si no son confirmadas.

Parafraseando a Einstein, una teoría debe de ser lo más sencilla posible, pero no más simple. Existen varios modelos y teorías del universo tratando de encontrar las leyes que gobiernan el universo, a pesar de ello, no existe un sólo modelo matemático o teoría que pueda describir cada aspecto del universo. En cambio, parece ser una red de teorías y modelos. Con cada teoría o modelo nuestro concepto de realidad cambia.

Desde hace muchos años se han realizado varios modelos que han tratado de explicar el comportamiento principalmente del humano. Estos modelos se han realizado desde distintas perspectivas, desde filosóficas hasta biológicas. Actualmente se han integrado todas estas áreas con el mismo objetivo de explicar el por qué del comportamiento. El conjunto de todas ellas se llaman ciencias cognitivas.

La cognición se refiere a los mecanismos los cuales los animales adquieren, procesan, almacenan y actúan sobre la información de su entorno. Esto incluye la percepción, aprendizaje, memoria y toma de decisiones. El término cognitivo generalmente es reservado para la manipulación del conocimiento declarativo en vez de ser procedu-
ral. El conocimiento declarativo es el saber qué, mientras el conocimiento procedu-
ral es el saber cómo. El primer tipo de representación implica un comportamiento más flexible que el segundo, pero en ambos casos el comportamiento resulta del procesa-
miento y almacenamiento acerca del mundo [89].

De manera sencilla, los estudios de cognición crean modelos que tratan de explicar el motivo de un comportamiento, tanto del ser humano como de cualquier otro animal. Es decir, tratan de describir el por qué un animal actúa de cierta forma. Median-
te la observación de la conducta se han creado estructuras cognitivas denominadas
actualmente arquitecturas que tratan de responder esa pregunta. Además, el com-
portamiento de un individuo se ha ido adaptando de acuerdo a las necesidades de
supervivencia y circunstancias del entorno.

Actualmente se conoce que la cognición se centra en el cerebro humano, y este ha
ido evolucionando conforme su entorno también lo ha hecho. De esta manera la neu-
rociencia ofrece un conocimiento más amplio del comportamiento de un ser vivo. El
interés principal, sin embargo, es el del ser humano.

De esta manera, en este trabajo proponemos un modelo del aparato cognitivo, es decir del cerebro humano en términos de cognición. El objetivo de este modelo es usarlo como base para un agente inteligente en la toma de decisiones.

Además se presenta un híbrido de planificación clásica y planificación reactiva para la toma de decisiones. Mostrando además una idea de la posible implementación de nuestra arquitectura usando este nuevo enfoque.

La estructura de la presentación de esta tesis es la siguiente: en el capítulo dos se encuentra el marco teórico conformado por cinco secciones que sirven de base para la comprensión de este trabajo; en el capítulo tres se presenta una propuesta de una arquitectura neurocognitiva; en el capítulo cuatro se presenta nuestra propuesta para la toma de decisiones basándose en planes, experiencia y emoción; en el capítulo cinco se toma el caso de estudio, el cual es un problema de logística y se resuelve utilizando nuestra propuesta; y finalmente en el capítulo seis se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

1.3. Objetivos

Objetivo General:

Implementar un agente que resuelva un problema de logística basándose en el modelado de conocimiento en neurociencias y utilizando los diferentes enfoques basados en Answer Set Programming.

Objetivos Específicos:

- Analizar los resultados encontrados en el área de neurociencias relevantes para este trabajo.
- Analizar el problema de logística referente a la distribución de paquetes para delimitar y plantear el escenario en el modelado del agente.

- Analizar los enfoques basados en Answer Set Programming relevantes para este trabajo que serán utilizados para modelar el agente (planificación, argumentación, revisión de creencias, actualización, etc).
- Modelar el razonamiento de un agente que resuelva el problema de distribución de paquetes empleando el conocimiento de las neurociencias utilizando programación lógica.
- Implementar el agente utilizando las diferentes implementaciones para Answer Set Programming.
- Verificar el comportamiento del agente mediante el método de Generación y Prueba.

Capítulo 2

Marco Teórico

Este trabajo combina estudios de diversas disciplinas, es por ello que el marco teórico incluye una sección para cada una de ellas. El capítulo se compone de las siguientes secciones:

- Inteligencia Artificial
- Answer Set Programming
- Arquitecturas Cognitivas
- Neurociencias
- Logística

La sección de inteligencia artificial aclara algunos conceptos básicos para la programación de agentes. En la segunda sección se define Answer Set Programming para emplearlo en la propuesta de implementación. En la sección de arquitecturas cognitivas se definen qué son y se muestran algunas características que éstas deben poseer. En la sección de neurociencias se mencionan los estudios realizados que sirven como base para este trabajo. Por último la sección de logística muestra algunos conceptos fundamentales para el caso de estudio de este trabajo.

El conjunto de estas secciones ofrece las herramientas suficientes para poder comprender este trabajo.

2.1. Inteligencia Artificial

En esta sección se describe de manera general la Inteligencia Artificial así como la Inteligencia Artificial Fuerte o General. Además se proporciona la definición de un agente y un agente cognitivo. Por último se describen los paradigmas de planificación automática, los cuales son la planificación clásica y la planificación reactiva.

2.1.1. Inteligencia Artificial Fuerte

La inteligencia artificial es la rama de las ciencias de la computación dedicada a estudiar y diseñar agentes racionales [34]. Russell y Norvig [85] muestran algunas definiciones, organizadas en cuatro categorías:

- Sistemas que piensan como los humanos.
- Sistemas que piensan racionalmente.
- Sistemas que actúan como los humanos.
- Sistemas que actúan racionalmente.

Donde cada enfoque tiene su propio estudio. Sin embargo, actualmente los enfoques de crear sistemas que piensen y actúen de manera racional ignorando al cerebro no es la mejor opción, dado que actualmente no se cuenta con muchos robots inteligentes, por ello se debe de poner atención acerca de cómo lo logra la madre naturaleza. Es decir, cómo se logra la inteligencia desde el punto de vista biológico. Desde este punto de vista, no existe una solución única a un problema a diferencia del punto de vista racional. Es decir, existen múltiples soluciones para una sola tarea. De esta forma, se puede crear un sistema capaz de lidiar con conflictos reinventando soluciones [33].

Por ello existen dos distinciones actuales dentro de la inteligencia artificial, las cuales son inteligencia artificial fuerte o general e inteligencia artificial débil o aplicada. Donde la distinción entre ambas es que la inteligencia artificial débil usa el software para estudiar o lograr resolver un problema específico o tareas de razonamiento que no abarcan el gran rango de habilidades cognitivas humanas, mientras el

término de inteligencia artificial fuerte es descrito actualmente como un sistema de inteligencia artificial que actúa como si tuviera mente [62].

Russell y Norvig [85] escriben que la mayoría de los investigadores de inteligencia artificial dan por sentado a la inteligencia artificial fuerte mientras ignoran la hipótesis de la inteligencia artificial fuerte por el siguiente enunciado: Un sistema inteligente puede pensar o actuar como si pensara tan bien o mejor que las personas.

Cabe señalar que es importante la colaboración entre la inteligencia artificial y la neurociencia para el entendimiento de cómo se genera la cognición humana. Actualmente se utiliza un arquitectura cognitiva para el diseño de una estructura que implemente varios procesos cognitivos.

Nuestro trabajo toma el enfoque de inteligencia artificial fuerte en el sentido de que nuestro modelo pretende resolver varios problemas a través de la experiencia y el aprendizaje.

2.1.2. Agente Cognitivo

Un agente es una entidad que percibe su entorno a través de sensores y actúa en su ambiente a través de actuadores.

De manera matemática, el comportamiento de un agente es descrito como una función del agente que mapea de acuerdo a una secuencia de percepciones a una o más acciones. De manera interna la función del agente dentro de inteligencia artificial es implementado por un programa, denominado el programa del agente. Es decir, la función del agente es una descripción matemática abstracta y el programa del agente es una implementación concreta [85].

De acuerdo a Babu y Venkataram [8] un agente cognitivo es un agente el cual:

- Funciona de manera continua y autónoma en un entorno particular.
- Realiza actividades de manera flexible e inteligente.
- Responda a los cambios en su entorno externo e interno.
- Aprende de la experiencia.

- Se comunica y coopera con otros agentes.
- Sea proactivo, es decir, su comportamiento vaya dirigido hacia un objeto y tome la iniciativa cuando es apropiado.

Un agente cognitivo generalmente implementa una arquitectura cognitiva o neurocognitiva, conformada por distintos módulos, con el objetivo de resolver varios problemas.

2.1.3. Planificación Automática

La planificación automática es un área de la inteligencia artificial la cual se encarga de crear estrategias para alcanzar una meta, generalmente a través de una secuencia de acciones. La planificación incrementa la flexibilidad y autonomía a través de la construcción de planes. Un plan de manera formal es una secuencia de acciones que llevan a un agente de un estado inicial a un estado deseado [85]. Además la planificación está vinculada con la teoría de decisión [67].

Existen dos principales tipos de planificación. La planificación clásica y la planificación reactiva. La principal diferencia entre ambas es la interacción con su entorno.

Planificación Clásica

La planificación clásica es aquella donde se consideran entornos que son completamente observables, finitos, deterministas, estáticos (los cambios ocurren sólo cuando el agente actúa) y discretos (en tiempo, acciones, objetos y efectos) [85].

La construcción de planes es basada en diferentes técnicas, como pueden ser la búsqueda hacia adelante (progresión) o hacia atrás (regresión) en el espacio de estados, posiblemente con una heurística o la reducción de un problema de satisfacción proposicional [85].

Para poder resolver un problema de planificación se requiere de un lenguaje que permita representar de manera estructurada los estados, las acciones, y los objetivos o metas [85].

Existen varios lenguajes para ello, uno ampliamente conocido es el lenguaje STRIPS

[41]. Sin embargo, presentamos el lenguaje \mathcal{A} [50] el cual es utilizado más adelante en este trabajo.

Lenguaje \mathcal{A}

Arzola y Zepeda [6] describen el lenguaje \mathcal{A} como sigue. El alfabeto del lenguaje \mathcal{A} consiste en dos conjuntos no vacíos disjuntos de símbolos \mathbf{F} y \mathbf{A} . Cada uno son llamados como conjuntos de fuentes y conjuntos de acciones respectivamente. Intuitivamente una fuente tiene un valor específico en cualquier estado del mundo. Por lo tanto una fuente forma parte de la descripción de un estado del mundo.

Una *literal de fuente* es una fuente o una fuente precedida de \sim . Un *estado* σ es un conjunto de fuentes. Se dice que una fuente f se satisface en un estado σ si $f \in \sigma$. De manera análoga se dice que una literal $\sim f$ se satisface en σ si $f \notin \sigma$.

Las acciones cuando son correctamente ejecutadas cambian el estado del mundo. Las situaciones son representaciones de la historia de la ejecución de acciones. La situación $[a_n, \dots, a_1]$ corresponde a la historia donde la acción a_1 es ejecutada en la situación inicial, seguida por a_2 y así sucesivamente hasta a_n .

Existe una simple relación entre situaciones y estados. En cada situación s algunos gluentes son verdaderos y otros son falsos, y este estado del mundo es el estado correspondiente a la situación s .

El lenguaje \mathcal{A} puede ser dividido en tres sublenguajes: *lenguaje de descripción del mundo*, *lenguaje de observación* y *lenguaje de consulta*.

Lenguaje de descripción del mundo

Es usado para expresar la transición entre los estados y acciones. La descripción del dominio D consiste en proposiciones de efecto de la siguiente forma: a **causes** f **if** $p_1, \dots, p_n, \sim q_1, \dots, \sim q_r$; donde a es una acción y $f, p_1, \dots, p_n, \sim q_1, \dots, \sim q_r$ son fuentes.

Intuitivamente, la proposición de efecto anterior significa que si las literales de fuente $p_1, \dots, p_n, \sim q_1, \dots, \sim q_r$ se cumplen en el estado correspondiente a la situación s entonces en el estado correspondiente a la situación alcanzada por la ejecución de a en s , deberá cumplirse la literal de fuente f . El rol de las proposiciones de efecto es definir una función de transición Φ de estados y acciones a estados.

La descripción del dominio también incluye condiciones de ejecución de la siguiente manera: **ejecutable a if** $p_1, \dots, p_n, \sim q_1, \dots, \sim q_r$; donde a es una acción y $p_1, \dots, p_n, \sim q_1, \dots, \sim q_r$ son fuentes.

Intuitivamente significa que si las literales de fuente $p_1, \dots, p_n, \sim q_1, \dots, \sim q_r$ se satisfacen en el estado σ en una situación s , entonces la acción a es ejecutable en s .

Lenguaje de observación

Un conjunto de observaciones O consiste en las proposiciones de valor de la forma: **initially** f .

Dado una descripción de dominio consistente D , el conjunto de observaciones O es usado para determinar los estados correspondientes a la situación inicial, referido como los estados iniciales y denotado como σ_0 .

Lenguaje de consulta

Se dice que una descripción consistente del dominio D en la presencia de un conjunto de observaciones O implica una consulta Q de la forma f **after** a_1, \dots, a_n si para todos los estados iniciales σ_0 correspondiente a (D, O) , la literal de fuente f se satisface en el estado $[a_n, \dots, a_1]\sigma_0$. Se denota como $D \models_O Q$.

Así, para modelar un problema de planificación en el lenguaje \mathcal{A} , se debe satisfacer la tupla (D, O, G) donde D es una descripción del dominio, O un lenguaje de observaciones y G una colección de literales de fuente $G = \{g_1, \dots, g_n\}$, donde se refiere al objetivo. Así, se requiere encontrar una secuencia de acciones a_1, \dots, a_n de tal manera que para todo $1 \leq i \leq l$, $D \models_O g_i$ **after** a_1, \dots, a_n . Entonces se dice que a_1, \dots, a_n es un plan que alcanza un objetivo o meta G con respecto a (D, O) .

Planificación Reactiva

La planificación reactiva es aquella donde en contraste con la planificación clásica, los elementos del entorno pueden ser parcialmente observables. Además los entornos son estocásticos, lo que conlleva un diferente diseño de agentes y algoritmos [85].

Al igual que la planificación clásica, existen varias formas de representar un plan

reactivo. Todos requieren de una unidad de representación básica y un medio para componer estas unidades en planes.

Algunas formas de representación son las reglas de condición y acción, las máquinas finitas de estados. Además existen otros enfoques como los basados en redes conexionistas, redes neuronales artificiales así como bajo la lógica difusa. Los algoritmos de planificación reactiva se basan en la selección de acciones. Entre mejor sea el algoritmo para elegir en las acciones posibles, mejor será el desempeño del agente.

Análisis Comparativo

Ambos tipos de planificación tienen sus ventajas y desventajas. Una de las principales ventajas de la planificación reactiva es que el agente puede actuar en diferentes entornos así como con nuevas situaciones. Sin embargo, es dependiente del entorno para actuar, y si existe alguna falla en procesar la información del exterior puede actuar incorrectamente. De igual manera, el costo de los planes ejecutados para alcanzar los objetivos no suele ser el óptimo. Por otra parte, el enfoque clásico permite al agente alcanzar el objetivo con el mejor plan posible. Sin embargo, puede no actuar correctamente con su entorno debido a la falta de flexibilidad. Sobre todo cuando se encuentra en una situación la cual no descrita. Esto es denominado como el problema de “brittleness” o fragilidad.

Ambos tipos de planificación se pueden beneficiar a través del aprendizaje. Naturalmente, entre mejor sean los modelos predictivos de acciones que el agente posea, los planes serán más efectivos. Existen varios tipos de aprendizaje, la cual se puede dar a través del comportamiento de otro agente, denominado clonación de comportamiento, o a través de recompensa y castigo por medio del aprendizaje del refuerzo.

2.2. Answer Set Programming

En esta sección se revisa brevemente el paradigma de programación declarativa Answer Set Programming. Answer Set Programming es una forma de programación declarativa orientada a problema de búsqueda difíciles. Está basada en la semántica estable [48] de programación lógica, la cual aplica ideas de lógica auto epistémica y lógica por defecto para el análisis de negación como falla [70]. En Answer Set Programming, los problemas de búsqueda se reducen al cálculo de los modelos estables (answer sets). Los programas que calculan los modelos estables son denominados Answer Set Solvers. Muchos de ellos emplean mejoras al algoritmo de Davis y Putnam [35] y son similares a los algoritmos usados en solucionadores de satisfactibilidad. Actualmente el resolvidor más eficiente es Clasp [47]. Answer Set Programming tiene alrededor de 10 años y actualmente incluye todas las aplicaciones de answer sets para la representación del conocimiento y el uso de evaluación de consultas de estilo Prolog [16] para resolver problemas que surgen en diversas aplicaciones. Existen actualmente enfoques orientados a preferencias [27], manejo de recursos [26], planificación [69], entre otros. El lenguaje de programación que se utiliza es el Answer Set Prolog (AnsProlog). A continuación se presenta la sintaxis de Answer Set Prolog y posteriormente se presenta la semántica estable. En seguida se presenta el enfoque de Answer Set Programming para planificación, denominado Answer Set Planning, el cual es utilizado en este trabajo.

2.2.1. Sintaxis

De acuerdo a Baral [10], la sintaxis de AnsProlog consta de los siguientes elementos:

1. Alfabeto
2. Términos
3. Átomos y literales
4. Reglas

A continuación se describe cada uno de ellos.

Alfabeto

El alfabeto consiste en seis clases de símbolos:

- Variables
- Constantes
- Símbolos de función
- Símbolos de predicados
- Los conectivos: \neg , *or*, *not*, “,” y \leftarrow
- Símbolos de puntuación: “(”, “)” y “.”

Las variables son cadenas de letras y números que empiezan con una letra mayúscula, mientras que las constantes, símbolos de función y símbolos de predicados son cadenas de letras y números que empiezan con una letra minúscula.

Términos

Una variable es un término.

Una constante es un término.

Si f es un símbolo de función y t_1, \dots, t_n son términos entonces $f(t_1, \dots, t_n)$ es un término.

Átomos y Literales

Un átomo es de la forma $p(t_1, \dots, t_n)$ donde p es un símbolo de predicado y t_1, \dots, t_n son términos.

Una literal es un átomo o un átomo precedido por el símbolo \neg . Se dice que en el primer caso es una literal positiva, mientras en el segundo caso es una literal negativa.

Una literal extendida es una literal precedida por el símbolo *not*.

Reglas

Las reglas son de la forma:

$$L_0 \text{ or } \dots \text{ or } L_k \leftarrow L_{k+1}, \dots, L_m, \text{ not } L_{m+1}, \dots, \text{ not } L_n.$$

Donde L_i son literales, $k \leq 0, m \leq k$ y $n \leq m$.

La parte precedida al símbolo \leftarrow se llama cabeza y se denota como $Head(r)$. La parte posterior al símbolo \leftarrow se llama cuerpo. Se denotan al conjunto de literales sin el símbolo *not* como $B^+(r)$ y al conjunto de literales extendidas como $B^-(r)$.

Cuando el cuerpo de la regla es vacío y en la cabeza hay una sola literal, se llama un hecho. Un hecho se puede escribir sin el símbolo \leftarrow . Cuando la cabeza es vacía, la regla se conoce como restricción. Cuando la cabeza de la regla está conformada por una literal, es decir, no existen disyunciones en la cabeza, se llama regla normal.

Un término es *ground* o instanciado si ninguna variable ocurre en él. De igual forma, un átomo es *ground* si los términos que ocurren en él son *ground* y una literal es *ground* si el átomo en él lo es también. Análogamente, una regla es *ground* si todas las literales de la regla son *ground*. Un *programa lógico* se compone de un conjunto de reglas. Un programa es *grounded* si todas las reglas en él lo son. Al conjunto de átomos de un programa lógico P se denotará como \mathcal{L}_P .

2.2.2. Semántica Estable

A continuación presentaremos algunas definiciones para así definir la semántica estable.

Sea P un programa normal, es decir un conjunto finito de reglas normales. $RED(P, M) = H \leftarrow B^+, \neg(B^- \cap M) | H \leftarrow B^+, \neg B^- \in P$ [71]

Para cualquier programa P , la parte positiva de P , denotado como $POS(P)$ es un programa que consiste exclusivamente de aquellas reglas en P que no tienen literales negativas [71].

Un conjunto de átomos M es un modelo mínimo de P si M es un modelo clásico de P y es mínimo (con respecto a la inclusión de conjuntos) entre los otros modelos

clásicos de P [18].

Sea P un programa normal y sea $M \subseteq \mathcal{L}_P$. Supongamos $P^M = POS(RED(P, M))$, entonces M es un modelo estable de P si M es un modelo mínimo clásico de P^M [71].

2.2.3. Answer Set Planning

El elemento clave de answer set planning es la representación de un dominio dinámico, como por ejemplo el problema del mundo de los bloques [93], en una forma de “historia del programa”. Un programa cuyos answer sets representen los posibles “historias”, o evoluciones de un sistema a través de un intervalo de tiempo arreglado [69]. En [69] se muestra como escribir el problema del mundo de los bloques.

Los answer sets de este enfoque corresponde a las acciones que llevan de un estado inicial a un estado final en un tiempo T , es decir, el plan. Si no encuentra ningún answer set entonces no existe un plan que lleve al agente del estado inicial a la meta en el tiempo determinado. Este es un proceso similar al usado en planificación de satisfactibilidad [69].

Actualmente existen varias implementaciones de Answer Sets orientadas a resolver problemas de planificación como DLV^K [40] y Coala [45].

2.3. Arquitectura Cognitiva

En esta sección se explica el concepto de arquitectura cognitiva, por el motivo de que el modelado del aparato cognitivo en sí es una arquitectura cognitiva.

Primero se explica el término de arquitectura cognitiva dentro del área de ciencias cognitivas, ya que su origen fue en esa área. Luego se define el término de arquitectura cognitiva para el área de inteligencia artificial. Además presenta un resumen de las habilidades y capacidades que una arquitectura cognitiva puede tener. Así como el uso del conocimiento dentro de una arquitectura cognitiva. Por último se presenta el panorama actual de las arquitecturas cognitivas.

2.3.1. Arquitectura Cognitiva en Ciencias Cognitivas

Bell y Newell [13] introdujeron el término de arquitectura cognitiva a las ciencias cognitivas realizando una analogía con la arquitectura de computadoras, la cual fue introducida a su vez por Brooks [17] a las ciencias de la computación a través de una analogía con la arquitectura de los edificios. De manera sencilla el término de arquitectura cognitiva es la especificación de la estructura del cerebro en un nivel de abstracción que explica cómo se logra el funcionamiento de la mente [3]. La cognición se refiere a la unión de los procesos mentales. Es por ello que Newell [75] argumenta la necesidad de crear unas suposiciones generales para los modelos cognitivos: una unificación de teorías de la cognición.

Esta unificación de teorías de la cognición debe explicar: cómo los organismos inteligentes reaccionan de manera flexible a estímulos de su entorno; cómo ellos exhiben comportamientos dirigidos hacia un objetivo y cómo adquieren racionalmente objetivos; cómo ellos representan el conocimiento (o cuales símbolos usan) y cómo realizan el aprendizaje.

2.3.2. Arquitectura Cognitiva en Inteligencia Artificial

Dentro del contexto de Inteligencia Artificial, una arquitectura cognitiva es el diseño o infraestructura integrada de recursos capaz de dar soporte a las funciones de un agente inteligente [12]. Una arquitectura cognitiva incluye aspectos de un agente cognitivo que son constantes a través del tiempo y de diferentes dominios de aplica-

ción. De igual forma se plantea una analogía con una arquitectura de los edificios, donde existen elementos fijos y elementos desplazables. Los elementos fijos de una arquitectura son los cimientos de la construcción, el terreno, entre otros, de igual manera una arquitectura cognitiva incluye elementos fijos como puede ser una o más memorias donde se almacena información. Dentro de los elementos desplazables de una arquitectura son los muebles, mientras que en una arquitectura cognitiva es la información que se encuentra en cada elemento.

La investigación de las arquitecturas cognitivas es importante por que apoya al objetivo central de la inteligencia artificial fuerte [85].

De alguna manera las arquitecturas cognitivas son lo opuesto a los sistemas expertos, en el sentido de que los sistemas expertos proveen comportamiento especializado en un contexto en específico, mientras las arquitecturas cognitivas pretenden cubrir una amplia diversidad de tareas y dominios [77]. En vez de realizar pequeños estudios que se encarguen de solucionar un problema a la vez, el estudio de las arquitecturas cognitivas trata de integrar diversas investigaciones en un simple esquema, para luego proceder a probar y refinar el esquema [77].

2.3.3. Capacidades de las Arquitecturas Cognitivas dentro de Inteligencia Artificial

De acuerdo a las actividades que se requieren que los sistemas inteligentes realicen son las capacidades que estos deben de integrar. De igual forma, las arquitecturas cognitivas pueden cubrir algunas capacidades de acuerdo a su propósito. Los creadores de las arquitecturas o diseñadores deben de pensar cómo los agentes cognitivos obtienen información de su entorno, la representación de conocimiento, formas de razonamiento, comunicación, aprendizaje, etcétera. Entre más capacidades tenga la arquitectura, mejor podrá realizar múltiples tareas.

Pat et al. [77] presentan capacidades que las arquitecturas cognitivas pueden integrar, las cuales son: reconocimiento y categorización; toma de decisiones y elección; percepción y evaluación de la situación; predicción y monitoreo; solución de problemas y planificación; razonamiento y revisión de creencias; ejecución y acción; interacción y comunicación; recuerdo, reflexión y aprendizaje.

Con el objetivo de hacer un análisis y evaluación a nuestra arquitectura descri-

bimos brevemente a continuación cada una de las capacidades que puede tener una arquitectura, de acuerdo al trabajo de Pat et al. [77].

Reconocimiento y Categorización

Un agente cognitivo que tiene contacto entre su entorno y su propio conocimiento requiere la capacidad de reconocer situaciones o eventos como instancias de conocimiento o patrones familiares. Por otro lado, el agente debe de realizar una categorización que involucra la asignación de objetos, situaciones y eventos a conceptos conocidos o categorías. Ambas capacidades de reconocer y categorizar la información están ligadas a la capacidad de percepción.

Toma de decisiones y Elección

Un agente cognitivo requiere la capacidad de poder tomar decisiones de manera correcta, así como seleccionar entre diversas alternativas para operar en su entorno. Algunas veces las decisiones son asociadas con el reconocimiento de situaciones o patrones. Una arquitectura, debe de proveer alguna manera, poder representar acciones alternas, tanto en operaciones cognitivas internas como externas, para soportar la toma de decisiones. Dentro de las operaciones cognitivas internas pueden ser el creer o desear, mientras en las externas pueden ser el observar o percibir.

También, una arquitectura debe ofrecer un mecanismo para seleccionar entre estas alternativas. Generalmente este proceso se divide en dos pasos. El primero es determinar qué acciones o elecciones son permitidas. El segundo paso es seleccionar entre las alternativas disponibles y eligiendo mediante algún sistema de medición la mejor. Por último se debe de incluir algún mecanismo dentro de la arquitectura que mejore la toma de decisiones a través del aprendizaje.

Percepción y Evaluación de la situación

Un agente debe de poder percibir y saber interpretar las señales percibidas para relacionarse con su entorno. La manera de realizarlo puede variar. Se han realizado diversas investigaciones sobre cómo percibir información del entorno e integrar dicha información.

Otro factor importante es la atención, la cual es decidir cómo localizar y direccionar

la información percibida, así como detectar información relevante del entorno. Un agente inteligente debe de ser capaz de ir más allá de la percepción de objetos y eventos separados para entender e interpretar la situación completa del entorno. La evaluación de la situación requiere que el agente inteligente combine la información que percibe de diversos recursos para componer un modelo del entorno actual.

Predicción y Monitoreo

Las arquitecturas cognitivas existen a través del tiempo, lo cual implica que pueden beneficiarse de la capacidad de predecir situaciones o eventos futuros.

La predicción requiere de un modelo del entorno y del efecto o efectos de las acciones que se tienen. El modelo debe de estar representado en la arquitectura en la memoria.

Una arquitectura ideal debe incluir la capacidad de aprender modelos predictivos desde la experiencia y refinarlos a través del tiempo. Una vez que la arquitectura ha creado mecanismos para realizar predicciones, puede también utilizarlos para monitorear el ambiente. El monitoreo provee un soporte natural para el aprendizaje, ya que los errores pueden ayudar al agente a mejorar el modelo de su entorno.

Solución de problemas y Planificación

Debido a que los sistemas inteligentes deben de alcanzar sus objetivos en diversas situaciones e inclusive algunas nuevas, las arquitecturas cognitivas deben de ser capaces de resolver problemas de planificación, donde la solución a este tipo de problemas es un plan el cual corresponde a una secuencia de acciones, de tal manera que se llegue al objetivo planteado.

Para poder realizar planificación, la arquitectura cognitiva debe ser capaz de representar un plan como un conjunto ordenado de acciones, sus efectos esperados, y la manera en que estos efectos habilitan acciones futuras. Un agente inteligente debe de ser capaz de construir un plan desde componentes disponibles en la memoria. La planificación y la solución de problemas pueden beneficiarse desde el aprendizaje. Naturalmente, los modelos predictivos mejorados para acciones conllevan a planes más efectivos.

Una arquitectura puede aprender desde los resultados de una búsqueda en el espa-

cio del problema, o a través de la observación de otro agente, así como sistemas de aprendizaje de refuerzo a través de recompensa. El aprendizaje mejora la resolución de problemas de dos maneras: la primera se encarga de reducir el espacio de búsqueda; la segunda de formular macro operadores o planes almacenados que reduzcan la búsqueda de tal manera que se den saltos grandes entre el espacio de búsqueda. Además si el entorno del agente es variable, el agente debe de ser capaz de realizar replanificación.

Razonamiento y Revisión de creencias

El razonamiento permite al agente incrementar el conocimiento de su estado actual. La planificación se encarga principalmente de alcanzar objetivos en un mundo a través de acciones. Sin embargo, el razonamiento permite realizar inferencias desde creencias previas o suposiciones que el agente tiene de antemano. Para poder realizar razonamiento, una arquitectura cognitiva debe de ser capaz de representar relaciones entre las creencias.

Una arquitectura cognitiva requiere de mecanismos que realicen inferencias usando estructuras de conocimiento. Dentro de las inferencias que se pueden realizar son el razonamiento deductivo, razonamiento inductivo e inferencias abductivas. El razonamiento juega un importante rol no sólo cuando el agente inferiere nuevas creencias, sino cuando decide en mantener las creencias existentes también.

La revisión de creencias es importante donde los entornos son dinámicos y se requiera que la información se esté actualizando constantemente.

Ejecución y Acción

Una arquitectura debe de ser capaz de representar acciones y almacenar capacidades motrices que las ejecuten. Una arquitectura cognitiva también debe de ser capaz de poder ejecutar acciones en su entorno.

Estos pueden realizarse desde un punto de vista de planificación o desde teoría de control, con ejecución de ciclos de control cerrados y abiertos interactuando con la capacidad de percepción del agente. Una arquitectura flexible además debe de soportar el comportamiento reactivo, así como uno analítico, de manera análoga a los humanos. Idealmente una arquitectura cognitiva debe de ser capaz de aprender capa-

idades motrices y tener políticas de ejecución desde la instrucción y la experiencia. Alternativamente, un agente puede adquirir o realizar tareas más complejas en términos del conocimiento de sus capacidades motrices.

Interacción y Comunicación

Algunas veces la mejor manera para que un agente adquiera conocimiento es a través de otro agente. De tal forma que la comunicación con otro agente es una importante capacidad que una arquitectura debe soportar.

Una arquitectura cognitiva debe de presentar mecanismos para transformar el conocimiento y representarlo para que pueda ser comunicado.

Recuerdo, Reflexión y Aprendizaje

Una arquitectura cognitiva puede también beneficiarse de capacidades extras, las cuales no son requeridas para un agente inteligente, pero su inclusión puede extender considerablemente la flexibilidad y robustez de una arquitectura. Sloman [94] les llama mecanismos meta administrativos.

Una capacidad de este tipo es recordar. Es decir, la capacidad de codificar y almacenar los resultados del procesamiento cognitivo en la memoria y acceder a ellos después, también conocido como memoria episódica.

La reflexión involucra el procesamiento de estructuras mentales recientes que están disponibles y estructuras guardadas, las cuales el agente debe regresar dentro del almacenamiento episódico. Un tipo de reflexión es la justificación de inferencias formadas, planes ejecutados, decisiones realizadas o acciones que dirigieron al agente a su estado actual. Otro tipo es el meta razonamiento acerca de las actividades cognitivas, las cuales una arquitectura puede ocupar en las mismas áreas de explicación, pero enfatizando su generación en lugar de su justificación. Otro tipo puede ser a través de análisis estadísticos.

El aprendizaje involucra la generalización más allá de creencias específicas o eventos. Un tipo de meta-razonamiento apoya el aprendizaje.

Por último, cabe señalar que una arquitectura ideal posee todas estas capacidades; sin embargo, en la práctica, de acuerdo a los problemas que se intenta resolver, las arquitecturas abarcan las capacidades necesarias para su funcionamiento. De este

modo, existen arquitecturas que se especializan en una determinada capacidad.[77].

2.3.4. Conocimiento en Arquitecturas Cognitivas

El conocimiento por si solo no proporciona inteligencia, así mismo, la inteligencia sin conocimiento no es útil. Para que una arquitectura pueda funcionar propiamente requiere mecanismos para adquirir el conocimiento y refinarlo, así como la representación, la organización y los mecanismos de uso del conocimiento [77].

Cabe señalar que el conocimiento no es propiamente de una arquitectura, pues puede cambiar de acuerdo a diferentes dominios y el tiempo.

Existen dos tipos de representación de conocimiento: declarativo y procedural. Un ejemplo común de representación declarativa es la lógica de primer orden mientras que un ejemplo de representación procedural son las reglas de producción. Una arquitectura puede soportar ambos tipos de representaciones.

Además existe el meta conocimiento, el cual le permite al agente saber lo que sabe. Una importante faceta de la cognición es el conocimiento conceptual, que se encarga de categorizar diferentes objetos, situaciones y conceptos orientados a acciones Pat et al. [77].

2.3.5. Panorama Actual

Varios investigadores han propuesto y estudiado algunas arquitecturas cognitivas con el paso del tiempo. Principalmente se pueden distinguir tres tipos de arquitecturas según su propósito:

- Arquitecturas cuyo objetivo es modelar la inteligencia humana o el funcionamiento de nuestra mente. Algunos ejemplos de este tipo son ACT-R [4] y Atlantis [53].
- Arquitecturas que intentan modelar la inteligencia general. Un ejemplo de este tipo de arquitecturas es Soar [64].
- Arquitecturas para la construcción de sistemas de control inteligente. RCS[1] es una arquitectura de este tipo.

En [77] se incluye un apéndice con una lista de arquitecturas cognitivas existentes importantes dentro de la investigación.

2.4. Neurociencia

Esta sección tiene como objetivo mencionar algunas investigaciones encontradas en la rama de la neurociencia, las cuales se harán referencia en el siguiente capítulo. Esta sección da una ligera introducción a la neurociencia y se mencionan los diferentes niveles de estudio de la neurociencia. Además se incorporan todos los estudios relevantes dentro de la rama de la neurociencia para la construcción de nuestro modelo.

2.4.1. ¿Qué es la Neurociencia?

Desde hace más de dos milenios, el ser humano ha tratado de entender cuestiones como el comportamiento, el aprendizaje, la fuerza de voluntad, la consciencia, entre otras más desde un punto de vista filosófico. Además, se han creado diversas ramas o ciencias del comportamiento, como son: la psicología, la psiquiatría, la sociología, la economía y la antropología. En los últimos años ha sido posible pensar en la actividad mental en términos del órgano biológico que genera el pensamiento, el cual es el cerebro. Y si se piensa en la función del cerebro, ahora se tienen todos estos puntos de vista tanto filosóficos como de comportamiento vigorizadas por esta nueva rama, la neurociencia. Desde hace algunas décadas la neurociencia empezó a proveer mecanismos biológicos orientados a la explicación de cada aspecto del comportamiento. Así, la neurociencia tienen algo nuevo que ofrecer [100].

El cerebro humano es la evolución de cientos de años y procesa funciones tanto de alto nivel como de bajo nivel. Algunas de las funciones de bajo nivel son respirar, caminar y dormir y algunas de las funciones de alto nivel son la toma de decisiones y aprendizaje [100].

El término de neurociencia fue introducido a mediados de 1960 para señalar el inicio de una nueva era en la cual varias disciplinas trabajaran juntas cooperativamente, compartiendo un lenguaje en común, conceptos comunes y un objetivo en común. Algunas de estas disciplinas son: neuroanatomía, neuroquímica, neuropsicología y actualmente colabora con otras ramas como son lingüística, matemáticas, física, ciencias de la computación y las ciencias del comportamiento que se mencionaron previamente. El objetivo en común es entender la estructura y función de

un cerebro normal así como uno anormal [95]. Para un detalle más completo de la historia de la neurociencia ver [59].

2.4.2. Niveles de Estudio de las Neurociencias

Churchland y Sejnowsk [23] proponen que existen tres diferentes connotaciones para la noción de niveles en la investigación neurocientífica: niveles de análisis, niveles de organización y niveles de procesamiento.

Los niveles de análisis se encargan de dividir un problema en términos de las diferentes preguntas que se pueden formular. Se consideran tres niveles, el nivel abstracto del problema, descomponiendo cada tarea en subtareas; el nivel de algoritmo, especificando un procedimiento formal para ejecutar la tarea proveyendo una correcta entrada y salida; y el nivel de implementación.

Los niveles de organización es la forma en cómo se organiza la estructura completa del sistema nervioso en escalas desde un bajo nivel hasta un alto nivel. Los niveles de la estructura iniciando con el nivel más bajo son: Moléculas, Sinapsis, Neuronas, Redes neuronales, Mapeos, Sistemas y Sistema Nervioso Central.

Los niveles de procesamiento es la forma en cómo la información es procesada. Este concepto se describe como sigue: entre mayor es la distancia de las células respondiendo a una entrada sensorial, la mayor cantidad de información es procesada.

Se puede observar que existe un nivel de análisis para cada nivel de organización, así como niveles de procesamiento. Por ejemplo, una tarea cómo es la unión sináptica que es parte del nivel de organización se puede analizar tanto en nivel abstracto, algorítmico e implementación. El nivel de procesamiento es bajo, debido a que la información dada en señales eléctricas y químicas se da entre dos neuronas cercanas.

Además los científicos estudian el cerebro por los mecanismos que generan cambios en el cerebro. Algunos de estos mecanismos son: genética, medio ambiente, plasticidad, experiencia y desarrollo. La neuroplasticidad se refiere a los cambios en

las vías nerviosas y las sinapsis que se deben a cambios en los procesos de comportamiento, medio ambiente y neural, así como los cambios resultantes de la lesión física [100].

2.4.3. Estudios de la Neurociencia

De acuerdo a lo anterior, los neurocientíficos intentan explicar cómo funciona el cerebro a través de diversos experimentos y escáneres, los cuales sirven para analizar e influir sobre el sistema nervioso del ser humano, especialmente sobre el cerebro. En su conjunto se denomina neurotecnología e incluyen simulaciones de modelos neurales, computadores biológicos, aparatos para interconectar el cerebro con sistemas electrónicos y aparatos para medir y analizar la actividad cerebral. Algunos son invasivos y otros no invasivos. Los primeros requieren de la cirugía para incorporar receptores o emisores cerca o junto a áreas del cerebro o terminaciones nerviosas que van a ser afectadas. Los segundos no requieren de cirugía eliminando los inconvenientes derivados de la intervención quirúrgica. Éstas últimas utilizan emisores y receptores que envían o captan señales alterando o recopilando los estados sensoriales característicos del cerebro y el sistema nervioso [52].

Algunas de las tecnologías y aparatos de medición son [52]:

- FMRI (Imágenes por resonancia magnética funcional) es el uso de una imagen de resonancia magnética para medir la respuesta de los flujos sanguíneos durante la actividad neuronal en el cerebro o en la médula espinal en humanos o animales. Es uno de los más recientes avances en la formación de neuroimágenes.
- EEG (Electroencefalograma) es un medidor neurofisiológico de la actividad eléctrica del cerebro por medio de electrodos colocados en la superficie de la cabeza, o en casos especiales, sobre la superficie del cortex cerebral. También conocido como brainwaves o impulsos eléctricos cerebrales.
- MEG (Magnetoencefalografía) es una técnica usada para medir los campos magnéticos generados por la actividad eléctrica en el cerebro mediante sen-

sores extremadamente sensibles tales como superconductores de interferencia cuántica (SQUIDS).

- EMIT (Tomografía cerebral por computación activa de microondas) es una nueva tecnología que permite medir las propiedades fisiológicas de los tejidos y órganos en tiempo real, basado en la diferenciación de las propiedades dieléctricas de los tejidos.

Los neurocientíficos intentan desarrollar posibles modelos que expliquen como el cerebro funciona. La manera de probar el modelo o marco conceptual es diseñar un experimento. Si el experimento da resultados que concuerdan con los del modelo, entonces el modelo se establece como hipótesis. Si ese no es el caso, entonces se debe de crear otra explicación posible. Este es el proceso mediante el cual la neurociencia trabaja y mediante la cual se realizan los descubrimientos en la neurociencia. Algunos ejemplos de experimentos son analizar pacientes con lesiones bien definidas en el cerebro así como personas con herencia de alguna enfermedad y compararlo con personas control, otro tipo de experimentos son a través del análisis de la actividad neuronal en el cerebro de un animal [100].

A continuación se muestran algunos de los estudios e investigaciones dentro del área de las neurociencia. Estos estudios sirvieron de base para la construcción del modelo de aparato cognitivo que se propone como resultado de esta tesis.

Aprendizaje Asociativo Pavlov

Pavlov [78] descubre que a lo que denomina reflejos condicionados son aplicables tanto en humanos como animales mediante varios experimentos. El experimento más renombrado es la relación entre el sonido de una campana y la salivación de unos perros. Pavlov observó que tanto los perros como los humanos empiezan a producir saliva automáticamente que el primer bocado entra a la boca. Ya que el proceso de salivación es la primera etapa de digestión. A la relación directa entre comida y digestión Pavlov lo denomina reflejo incondicionado. Sin embargo, lo interesante fue que cuando se producía una señal arbitraria repetidas veces cuando ofrecía comida a los perros (por ejemplo el tictac de un metrónomo o una campana) causaba que los

perros salivaran con el estímulo. Es decir, si el sonido del metrónomo se escuchaba antes de que la comida llegara a la boca del perro, después de varias repeticiones, ese sonido posteriormente producía salivación sin necesidad de proporcionar alimento alguno. Pavlov lo denomina reflejo condicionado, y sugiere que el sonido del metrónomo se había convertido en una señal de comida. De igual manera, realizó el mismo experimento con diferentes estímulos con los mismos resultados.

Pavlov descubrió una técnica experimental para estudiar una forma muy básica de aprendizaje. Este aprendizaje se le denomina aprendizaje asociativo. Se le nombra asociativo porque lo que se aprende es una asociación entre un estímulo arbitrario con un estímulo gratificante o castigo. Es decir, si después del sonido de una campana se alimenta a un perro, éste aprenderá que después de la campana es momento de comer, y de igual manera funciona para un castigo. Mediante el aprendizaje asociativo se puede aprender qué cosas son buenas y qué cosas son malas. Por ejemplo, el color de una fruta puede indicar si se puede comer o no. Cabe mencionar que Pavlov remarca que un estímulo es interesante sólo si predice que en el futuro algo bueno o malo va a ocurrir. El aprendizaje descubierto por Pavlov es precisamente una de las maneras más instintivas para la supervivencia de los seres vivos.

A través de su trabajo teórico y experimental en la fisiología de la actividad nerviosa, Pavlov influyó significativamente en el desarrollo de la neurociencia. Pavlov enfatiza la alta plasticidad del sistema nervioso central investigando los sistemas funcionales complejos entre el cerebro con el organismo y su entorno. En [80] se muestra la importancia que tuvo Pavlov en el desarrollo de la neurociencia.

Teoría del Refuerzo

La teoría del refuerzo (Reinforcement theory en inglés) fue desarrollada dentro de la escuela del comportamiento de psicología notablemente por Skinner [63]. Skinner [92] señala que el comportamiento es una función de sus consecuencias, al cual le denomina condicionamiento operante. Es decir, el aprendiz repetirá el comportamiento deseado si el refuerzo positivo (una consecuencia placentera) resulta al comportamiento realizado y de igual manera el aprendiz evitará un comportamiento si el refuerzo negativo (una consecuencia indeseable) resulta de acuerdo al compor-

tamiento.

Los refuerzos positivos o recompensas pueden incluir refuerzos verbales como: “se logró la meta”, “es genial”, “sigue así”. También puede incluir recompensas como un certificado donde se señale que concluyó el curso con éxito o un ascenso de trabajo, así como felicitaciones públicas [39]. Los refuerzos negativos también forman parte del comportamiento y se refieren a las situaciones donde una condición negativa es detenida o evitada como una consecuencia de comportamiento. El castigo, por otro lado, debilita el comportamiento por que una condición negativa es introducida o experimentada como una consecuencia del comportamiento y enseña al individuo a no repetir el comportamiento cuando fue reforzada negativamente. Los castigos crean condiciones las cuales son diseñadas para eliminar comportamientos [39].

Una consideración de esta teoría es el aprendizaje supersticioso. Skinner [91] muestra cómo palomas relacionan cierta conducta con el abastecimiento de comida. Es decir, como si creyeran que dicha acción brindara comida como consecuencia. De igual manera, Shermer [88] remarca que el ser humano realiza el mismo aprendizaje supersticioso. Además Shermer señala que la gente busca y recuerda información que provee apoyo cognitivo a las actitudes o creencias pre-existentes. La principal suposición que guía esta teoría es que a la gente no le gusta estar equivocada y generalmente la gente se siente incómoda cuando sus creencias son cambiadas. Generalmente el aprendizaje supersticioso es relacionado con la supervivencia. Por ejemplo, cuando una persona sugiere que comer una especie particular de hongo puede ser mortal, ya sea porque cuenta con un caso o una experiencia cercana; entonces, si se toma en cuenta el consejo se aprende a no consumir esa especie de hongo, y se desarrolla la creencia de que esa especie de hongo es mortal, sin tener clara evidencia de la veracidad de la información. De esta forma, a través de la evolución y por supervivencia, si se considera riesgoso, la mejor opción es evitarlo, ya que la supervivencia está en juego.

Dentro del aspecto de la neurociencia Shermer [88] señala que la dopamina, la cual es un neurotransmisor, puede ser la más directamente relacionada al aspecto neural que se correlaciona con la creencia. La dopamina es importante en el aprendizaje asociativo y el sistema de recompensa del cerebro, que Skinner descubrió a través de su proceso de condicionamiento operacional.

En el tallo cerebral, el cual es una de las partes del cerebro más antigua y evolucionada, que se comparte con todos los vertebrados, existen neuronas produciendo dopamina que se disparan a través de los axones conectando a otras partes del cerebro. Estas neuronas estimulan la liberación de dopamina cuando, una vez que se determina que la recompensa recibida es más de lo que se espera, lo que causa que el individuo repita el comportamiento. La liberación de dopamina es una forma de mandar un mensaje: “Hazlo otra vez”. La dopamina produce la sensación de placer que acompaña el realizar o cumplir un objetivo, lo que hace al organismo repetir el comportamiento. Sin embargo, uno de sus lados negativos es la adicción.

Una importante aclaración sobre la dopamina es que los neurocientíficos tratan de realizar una distinción entre gustar de placer y querer de motivación. Existe un debate abierto sobre si la dopamina actúa para estimular el placer o motivar el comportamiento.

Además existe la teoría del refuerzo de la sensibilidad (Reinforcement sensitivity theory en inglés) que propone sistemas de comportamiento y sistemas del cerebro para subrayar las diferencias en sensibilidad hacia el castigo, recompensa y motivación. Esta teoría está basada en la teoría de la personalidad biopsicológica de Grey [57]. La personalidad biopsicológica analiza los sistemas de activación e inhibición de comportamiento, además también incluye un sistema de huir o pelear conocido actualmente como estrés. En [24] se presenta una evaluación actual de la teoría del refuerzo de la sensibilidad y en [25] se muestra esta teoría completa en una perspectiva de personalidad.

Predicción y Percepción

La experiencia sobre el mundo visual dictamina las predicciones sobre que objetos se pueden esperar en una escena y su configuración espacial. Por ejemplo, al visualizar una sala, se espera ver un sofá, un centro de mesa, entre otros elementos que conforman una sala. Estas propiedades predecibles del entorno facilitan la percepción así como el reconocimiento particular de objetos. El conocimiento permite al sistema visual crear una interpretación correspondiente a las representaciones visuales. Este contexto realizado por predicciones permite enfocar la atención a un objeto si es de

interés [9]. Es decir, las expectativas del mundo visual pueden facilitar la percepción permitiendo al cerebro crear interpretaciones de información ambigua y ruidosa. Sin embargo, muchos de los mecanismos aún son desconocidos [79].

Castiello [20] demostró cómo distintos objetos de una escena visual activan de manera automática los mecanismos necesarios para alcanzar dichos objetos y agarrarlos sin ninguna intención consciente de cómo actuar. Lo consiguieron midiendo con gran precisión los movimientos de la mano cuando las personas agarraban los objetos. Al agarrar un objeto, la distancia entre los dedos y el pulgar se ajusta antes de agarrar el objeto con el tamaño de éste. Por ejemplo, si una persona quiere agarrar una manzana, abre más la mano en comparación de una cereza. Pero si se encuentran ambas frutas cerca en la mesa, y si se desea agarrar la cereza, la mano se abre un poco más en comparación de si estuviera sola, demostrando que en el cerebro se ejecutan los programas de acción para agarrar la manzana y la cereza de forma simultánea.

La predicción crea la sensación de tener el control, ya que se determina qué va a suceder. Así, se traza un plan a futuro. Sin embargo, cuando algo nuevo ocurre, se necesitan cambiar los planes [44].

El ciclo interactivo entre la predicción y percepción actualiza información del mundo externo, en un modelo almacenado en el cerebro. Este modelo es la representación del mundo real a escala reducida. Mediante este modelo, se puede predecir información. Sin embargo la percepción depende de las creencias e información previa de este modelo. De esta manera se forma un ciclo interactivo entre la percepción y predicción. Ya que no se puede tener información del mundo sin haberlo percibido y de igual manera no se puede percibir si no se tiene una expectativa. Así, se forma un ciclo infinito entre la percepción y la predicción [44]. Con el modelo del mundo se predice información, la cual puede contener errores. Si la predicción no corresponde con la percepción, entonces se realiza una corrección o actualización del modelo. Con ello, los errores ayudan al cerebro a crear un mejor modelo del mundo. Frith [44] señala que el cerebro descubre lo que existe en el mundo exterior mediante la construcción de modelos del mundo. Los modelos se ajustan para proporcionar las mejores predicciones posibles de las sensaciones conforme acciones son realizadas en el mundo. Es decir, las percepciones no son del mundo si no del modelo creado por el cerebro.

Ceguez por Inatención y Teoría de Carga Perceptual

En [21] se muestra un experimento psicológico realizado a estudiantes de Harvard. Se realizó un video de corta duración donde dos equipos en constante movimiento se dan pases de basket ball entre sí. Un equipo vestía playeras blancas mientras el otro negras. Se les preguntó a los estudiantes contar silenciosamente los pases hechos por los jugadores usando playera blanca, mientras se ignoran los pases usados por los jugadores del equipo que vestía de negro. Después de terminar de ver el video, los estudiantes respondieron correctamente los pases que se realizaron. Sin embargo, se les hicieron cuestionamientos como si habían observado algo inusual en el video o si vieron algo más aparte de los jugadores. Lo interesante fue, que al realizar la pregunta de si observaron el gorila, alrededor de la mitad de la gente no vio el gorila. Muchos inclusive al volver a ver el video, señalaron que estaba editado o era otro video diferente al que habían observado. Este error de percepción es resultado de la falta de atención de un objeto inesperado, y se le denomina ceguez por inatención (inattention blindness en inglés). En otras palabras, la ceguez por inatención es la falla de poder detectar eventos inesperados cuando la atención está en otra parte [82].

En [38] señalan que las imágenes de resonancia magnética funcional de sujetos que intentan detectar cambios visuales durante un parpadeo de pantalla, se usan para distinguir las correlaciones neuronales de la detección de cambios de los de la ceguera al cambio. Esta detección se muestra con mayor actividad en la corteza prefrontal dorsolateral derecha y parietal, así como algunas regiones de la corteza visual. Además en [97] se muestra algunos sustratos neurales asociados a la ceguez por inatención observados en la corteza prefrontal, que junto con descubrimientos anteriores se cuestiona sobre la actividad en la corteza prefrontal refleja el procesamiento consciente. Lavie [68] propone la teoría de la carga perceptual, la cual sostiene que los observadores pueden filtrar eficientemente distractores irrelevantes a una tarea cuando se ejecutan bajo altos niveles de carga perceptual, pero fallan cuando la carga perceptual es baja. Sin embargo en [101], se realiza una prueba de esta teoría, donde los resultados indican que hay diferencias individuales a considerar

en la capacidad como una función de la variación de la carga perceptual y que existen algunas violaciones a las suposiciones de esta teoría como es la suposición de que las limitaciones de capacidad son independientes de las limitaciones sensoriales. Por otro lado, la teoría ofrece una resolución al debate entre la selección temprana o tardía sobre si un estímulo irrelevante a una tarea es percibido, sugiriendo que la percepción irrelevante depende sobre la carga perceptual del procesamiento relevante a la tarea. Sin embargo, la evidencia previa para esta teoría se basa en neuroimágenes y RT. En [19] se prueba los efectos de carga de la percepción consciente usando el paradigma de la ceguez por intención, dando como resultado que la percepción consciente de los estímulos críticos irrelevantes a una tarea dependen en mayor medida sobre el nivel de carga perceptual en vez de las intenciones o expectativas.

Áreas de Trabajo en el Cerebro

A mediados del siglo XX, los neurocientíficos determinaron dos puntos de vista sobre el lugar donde se encuentra la memoria en el cerebro. El primer punto de vista señala que el córtex está compuesto por regiones discretas que tienen funciones específicas, es decir existe una región que representa el lenguaje, mientras en otra región se encuentra la visión, etcétera. El otro punto de vista supone que las distintas capacidades mentales son producto de la actividad mancomunada de toda la corteza [60]. Broca y Wernicke consiguieron vincular perturbaciones específicas del lenguaje con lesiones en determinadas regiones de la corteza y así, aportaron pruebas convincentes de que al menos algunas de las funciones mentales superiores se originaban allí. La corteza cerebral es la parte más voluminosa del encéfalo. Una hendidura profunda, denominada cisura longitudinal, lo divide en dos hemisferios, derecho e izquierdo. Cada hemisferio difiere en estructura y funciones. Cada hemisferio se ocupa primordialmente de las actividades sensoriales y motoras correspondientes al lado opuesto del cuerpo. Broca proclamó en 1864 uno de los principios más famosos de las funciones cerebrales : "Hablamos con el hemisferio izquierdo!". Sin embargo, Wernicke afirmó que cualquier comportamiento complejo no es producto de una única región cerebral, sino de varias regiones interconectadas y especializadas. Por lo tanto en el caso del lenguaje existen dos áreas o regiones que son, área de Wernicke para

la comprensión y área de Broca para la expresión [60].

Una vez que se comprobó que el lenguaje se genera y se comprende en regiones específicas del cerebro, se identificaron las regiones que gobiernan cada uno de los sentidos.

Actualmente existen diversas regiones específicas en el cerebro para determinadas funciones.

Memoria

La memoria es la capacidad de adquirir y almacenar información diversa, desde cosas triviales de la vida cotidiana hasta complejas abstracciones matemáticas. La memoria es uno de los aspectos más notables del comportamiento, ya que permite resolver problemas evocando simultáneamente varios hechos a la vez. La memoria brinda una imagen coherente del pasado que pone en perspectiva la experiencia actual. De tal manera que el ser humano es así por consecuencia del aprendizaje y los recuerdos [60].

Milner infirió tres principios importantes sobre el fundamento biológico de la memoria compleja. La memoria es una función mental bien diferenciada y separada de las capacidades perceptivas, motoras y cognitivas. La memoria de corto plazo y largo plazo pueden almacenarse en lugares distintos. Al menos un tipo de memoria puede vincularse con lugares específicos del cerebro. Actualmente, se supone que la memoria de largo plazo se almacena en la corteza, además, se almacena en la misma zona cortical que procesa la información original. Es decir, los recuerdos de imágenes se guardan en diversas zonas de la corteza visual, los recuerdos de experiencias táctiles se guardan en la corteza somatosensorial, y así sucesivamente [60].

Existen dos tipos de memoria. La memoria consciente, explícita o declarativa, la cual comprende los recuerdos conscientes acerca de personas, lugares, objetos, hechos y sucesos. La memoria inconsciente, implícita o procedimental, la cual comprende los hábitos, la sensibilización y el condicionamiento clásico, además de destrezas perceptivas y motoras como andar en bicicleta, o habilidades adquiridas [29].

Además Atkinson [7] proponen su modelo, reconocido como modelo de Atkinson Shiffrin o modelo multi almacenamiento, el cual dividen a la memoria en 3 módulos,

donde proponen que la memoria humana es la secuencia de tres etapas: la memoria sensorial, la memoria de corto plazo y la memoria de largo plazo. Este modelo multi almacenamiento de memorias es una explicación de cómo la memoria procesa el trabajo.

La memoria sensorial almacena información acerca del mundo a través de los órganos sensoriales limitados sin procesar por menos de un segundo.

La memoria de corto plazo retiene información lo suficiente para usarse, como mirar un número telefónico y recordarlo el tiempo necesario para marcarlo. Además Miller [73] encontró que la memoria de corto plazo tiene la capacidad limitada para almacenar 7 ± 2 trozos de información o "chunks".

La memoria de largo plazo provee la última retención de información, desde minutos hasta el tiempo de vida del organismo. La memoria de largo plazo aparenta no tener ningún límite de capacidad para retener información. La información dentro de la memoria de largo plazo se almacena principalmente en términos de significado, pero también retiene información procedural.

Consciencia

La consciencia humana sigue siendo un gran misterio, ya que todavía no se cuentan con todas las respuestas [37]. Es por ello que es difícil de explicar, y cuenta con diferentes definiciones según el enfoque de estudio. Sin embargo, la consciencia se puede definir como los estados y procesos internos, cualitativos y subjetivos de sensación o alerta [87].

El ser humano necesita la consciencia para sobrevivir. Ya que la supervivencia depende de encontrar e incorporar fuentes de energía y de prever todas las situaciones que amenazan la integridad de los tejidos de la vida. La visualización permite escoger entre un repertorio previamente disponible de patrones de acción y optimizar la entrega de la acción escogida. Es decir, se puede de alguna manera deliberada y automática revisar las imágenes mentales que representan las diferentes opciones de una acción con sus diferentes escenarios y diferentes consecuencias de una acción. Se puede elegir la más apropiada y descartar las malas opciones. Estas imágenes permiten inventar nuevas acciones para ser aplicadas en situaciones nuevas y cons-

truir planes para futuras acciones. Si las acciones son la raíz de la supervivencia y su poder está unido a la disponibilidad de imágenes que guíen, entonces la consciencia es un dispositivo capaz de maximizar la manipulación efectiva de imágenes a servicio de los intereses particulares de un organismo, creando ventaja sobre los que no lo tienen y prevalecieron en la evolución [30]. Además Floris P. de Lange y Dehaene [42] presentan unos resultados del análisis de cómo la consciencia cambia los pesos relativos de evidencia durante la toma de decisiones humana, sugiriendo un posible papel de la consciencia en la implementación de estrategias flexibles para polarizar la adquisición de información en línea con las expectativas propias y las metas. Es decir, la toma de decisiones de los humanos está basada en la evidencia acumulada durante el tiempo para diferentes opciones. De esta forma, la acumulación de evidencia afecta el nivel de consciencia de la información para tomar una decisión.

Dehaene y Naccache [36] señalan que tres observaciones que cualquier teoría de la consciencia debe de tener: una considerable cantidad de procesamiento puede ser posible sin la consciencia, la atención es un pre requisito para la consciencia y la consciencia es requerida para algunas tareas cognitivas, incluyendo aquellas que requieren mantenimiento durable de información, nuevas combinaciones de operaciones o la generación espontánea de comportamiento intencional.

La consciencia tiene tres aspectos que la hacen diferente de otros fenómenos biológicos, los cuales son: el carácter cualitativo, la subjetividad y la unidad [87]. El carácter cualitativo es descrito a menudo con la palabra *qualia*, la cual es el plural de *quale*. Los *qualia* simbolizan el vacío explicativo que existe entre las cualidades subjetivas de la percepción y el cerebro [74]. Dennett [37] identifica cuatro propiedades que son adscritas a los *qualia*: inefables, es decir no pueden ser comunicados o aprendidos por otros medios diferentes a la experiencia directa; intrínsecos, esto es, son propiedades no relacionales, que no cambian dependiendo la relación de la experiencia con otras cosas; privados, o sea, todas las comparaciones interpersonales de los *qualia* son sistemáticamente posibles; directamente o inmediatamente aprehensibles en la consciencia, es decir, la experiencia de un *quale* es saber que uno experimenta un *quale* y saber todo ello es saber acerca del *quale*. La subjetividad se refiere a los estados conscientes solo existen cuando son experimentados por un sujeto humano o animal. En ese sentido, son esencialmente subjetivos. La unidad indica que todas las

experiencias conscientes en cualquier punto de la vida de un agente ocurren como parte de un campo consciente unificado.

Damasio [30] muestra los resultados de las observaciones de los experimentos neurológicos y neuropsicológicos revelan varios hechos. El primer hecho es que algunos aspectos del procesamiento de la consciencia pueden estar relacionados a la operación de específicas regiones del cerebro y sistemas, abriendo la puerta de descubrir la arquitectura neural que soporta la consciencia. El segundo hecho es que la consciencia y el estar despierto (*wakefulness* en inglés), así como la consciencia y el bajo nivel de atención pueden no estar ligadas. El tercer hecho es que la consciencia y la emoción no son separables. El cuarto hecho es que la consciencia no es única, al menos en humanos. La consciencia puede ser separada en tipos simples y complejos. El tipo simple es denominado el núcleo de la consciencia, que provee al organismo de un sentido sobre sí acerca de un momento, el ahora, y de un lugar, el aquí. Es decir, el aquí y ahora. Por otro lado, el tipo complejo de la consciencia, denominado consciencia extendida donde existen varios niveles y grados, proveen al organismo con un elaborado sentido de sí mismo, una identidad y coloca a una persona en un punto de su tiempo histórico individual, alerta de lo que ha vivido en el pasado y de su futuro anticipado, y agudamente consciente de todo el mundo a su lado. El núcleo de la consciencia no es dependiente de la memoria convencional, memoria de trabajo, razonamiento o lenguaje, mientras la consciencia extendida depende de la memoria convencional y la memoria de trabajo, además del lenguaje.

Laureys y Tononi [66] muestran la relación de la consciencia entre otras funciones del cerebro, como son: entrada sensorial, salida motriz, lenguaje, introspección, reflexión, atención, memoria, espacio, percepción imaginación, entre otras, sugiriendo que la consciencia puede ser desasociada de ellas. Además Laureys [65] presenta los diferentes niveles de la consciencia o de estar despierto (*wakefulness* en inglés) comparándolos con el contenido de la consciencia o de alerta (*awareness* en inglés), desde el estado de coma, anestesia general, hasta estar despierto conscientemente en alerta.

Christof [22] propone la teoría de los correlatos neurobiológicos de la consciencia, que son definidos como los mecanismos neuronales mínimos enlazados suficientes para cualquier percepción específica consciente. La definición se enfoca en ser un

atributo mínimo por que la pregunta de interés es, cuales subcomponentes del cerebro son esenciales. Por ejemplo, las células Purkinje no se consideran dentro de los correlatos para una percepción general, ya que no inducen una percepción sensorial debido a que solo afectan algunos comportamientos como es el movimiento de los ojos. Por otro lado la definición no se enfoca exclusivamente en la condición de necesidad para la consciencia debido a la gran redundancia y paralelismo encontrado en las redes neurobiológicas. Por último, otro aspecto importante al problema entre cuerpo y mente, es la pregunta del libre albedrío. La gama de puntos de vista es amplia desde la creencia tradicional de que el ser humano es libre, autónomo y actor consciente hasta el punto de vista que el ser humano es una máquina biológica dirigida por sus necesidades y deseos, más allá del acceso consciente y sin control de voluntad alguna. De acuerdo a los resultados de Benjamin Libet y Pearl [14], los eventos del cerebro preceden a la iniciación consciente de una acción voluntaria. Es decir, que la iniciación cerebral de un acto espontáneo o con voluntad libre puede empezar de manera inconsciente antes de que el sujeto esté consciente de que esa decisión de actuar ya ha sido tomado cerebralmente.

Hipótesis del Marcador Somático

Damasio [31] presenta la hipótesis del marcador somático, el cual provee un sistema tanto a nivel anatómico del sistema nervioso, como a nivel cognitivo para la toma de decisiones influenciada por la emoción.

Los términos de razonamiento y decisión, conceptos ligados, implican que quién va a tomar la decisión posee alguna estrategia lógica o mecanismos para producir inferencias válidas sobre la cual se selecciona una opción de respuesta apropiada entre diversas alternativas. De manera que este proceso de razonamiento para llegar a una decisión se encuentra en algún lugar. Dentro de ellos se encuentra la atención y la memoria funcional principalmente. Sin embargo, la hipótesis del marcador somático incluye la emoción o el sentimiento como el mecanismo que genera un repertorio de opciones diversas para su selección. El motivo es debido a que no todos los procesos biológicos que culminan en la selección de una respuesta pertenecen al ámbito de razonamiento para la toma de decisiones [31]. Un ejemplo ilustrativo es un reflejo

al esquivar una pelota que viene en dirección hacia un individuo, dónde se requiere una acción de manera rápida. Existen dos opciones para el individuo, esquivarlo o no. Para generar la respuesta, no se utiliza el conocimiento consciente (explícito) ni una estrategia de razonamiento consciente. El conocimiento se obtuvo una vez que cuando se aprende por primera vez que los objetos que caen pueden hacer daño y que lo mejor es evitarlos o detenerlos para no ser golpeados. Es decir en base a una experiencia pasada. La estrategia empleada para la selección de la respuesta es una activación de la fuerte conexión estímulo-respuesta que se da por medio de reforzar la experiencia.

La toma de decisiones en situaciones como la elección de una carrera, la pareja de matrimonio, invertir ahorros, etcétera son más complejas puesto que las opciones de respuesta son más numerosas, las consecuencias respectivas poseen más ramificaciones así como los conflictos entre ventajas y desventajas. La gran complejidad e incertidumbre conllevan a producir predicciones no confiables. El marcador somático consigue forzar la atención sobre el resultado negativo al que puede conducir una acción determinada y funciona como una señal de alarma automática que señala peligro si se elige tal opción ya que se sabe que conduce a este resultado. Esta señal puede llevar a recharzar inmediamante el curso de una acción y brinda una protección contra pérdidas futuras. Cabe mencionar que el marcado somático puede no ser suficiente para la toma de decisiones, pero aumenta probablemente la precisión y la eficiencia del proceso de decisión, así como su ausencia las reduce. Cuando un marcador somático negativo se yuxtapone a un determinado resultado futuro, se envía una señal de alarma para evitar dicha acción, en caso contrario, se convierte en una guía de incentivo.

Damasio y Bechara [32] proponen una teoría neural para una decisión económica, donde se toma de referencia la teoría de las perspectivas por Tversky y Kahneman [98]. Diversas teorías en economía proponen que la toma de decisiones se realiza a través de un análisis de costo beneficio de numerosas opciones y a menudo en conflicto entre sí donde se involucran consecuencias a un futuro inmediato o un futuro a largo plazo. Diversos estudios de la hipótesis del marcador somático demuestran que los pacientes que tienen áreas del cerebro dañadas asociadas al marcador somático no pueden tomar decisiones sencillas como es el seleccionar entre dos marcas de re-

fresco, debido a que razonan y analizan todos los pros y los contras de cada marca. De igual manera estos pacientes no toman decisiones adecuadas pues pueden escoger de manera no favorable para ellos.

Damasio define una emoción como una colección de cambios en el cuerpo y estados del cerebro, disparados por un sistema del cerebro dedicado a responder el contenido específico de la percepción de uno, tanto actual como recordada, relativo a un objeto particular o evento [32]. Estos objetos o eventos los cuales se pueden predecir una emoción son designados estímulos emocionalmente competentes. Un sentimiento es el conjunto de señales mapeadas en las regiones somatosensoriales del cerebro que provee ingredientes sobre lo último percibido. Este fenómeno es perceptible para el individuo en el cual se produce [32].

La hipótesis del marcador somático ha sido probada usando el juego de riesgo, el cual es un paradigma para valorar la toma de decisiones [5]. Sin embargo existen otros paradigmas llamados tareas de jugadas y de riesgo, desarrolladas por Rogers RD [84]. El juego de riesgo es detallado en [5]. De manera breve, los jugadores tienen que elegir entre cuatro barajas de cartas llamadas A, B, C y D. Algunas barajas cuentan con recompensa alta inmediata pero con grandes pérdidas a futuro, y otras con recompensa baja inmediata, pero pocas pérdidas a futuro. El objetivo es lograr la máxima ganancia de dinero en el juego. Los jugadores pueden elegir de manera indistinta entre las cuatro barajas. Los jugadores ignoran que deberán hacer cien selecciones de cartas. El examinador conoce que las cartas de las barajas A y B corresponden a la inmediata ganancia alta pero grandes pérdidas a futuro (denominadas barajas en desventaja). De igual manera conoce que las cartas de las barajas C y D corresponden a las ganancias bajas inmediatas pero pocas pérdidas a futuro (denominadas barajas con ventaja). En resumen, las personas control, es decir, sin lesiones, al cabo de de cuarenta cartas, su desempeño fue favorable. En cambio las personas que tenían lesiones en la amígdala, la cual es el conjunto de núcleos de neuronas localizadas en la profundidad de los lóbulos temporales relacionadas al procesamiento y almacenamiento de reacciones emocionales, se desempeñaron de manera deficiente en todo el juego comparado con sus pares. Las personas con lesiones en la corteza prefrontal ventromedial la cual es una parte de la corteza prefrontal asociada al procesamiento de riesgo, miedo, toma de decisiones y además está relacionada para el disparo de

los marcadores somáticos se desempeñaron por encima de los demás en las primeras cuarenta cartas, de allí su desempeño bajo hasta llegar poco arriba de las personas con lesiones en la amígdala.

La hipótesis del marcador somático posiciona que cuando se evalúa una decisión, los pensamientos separados disparan estados somáticos positivos o negativos dependiendo de la magnitud de los positivos en relación con los negativos. Así, después de algunas pérdidas, el pensamiento de otra pérdida es más fuerte y dispara un estado somático negativo más fuerte. De igual manera si se obtiene una ganancia, el pensamiento de otra ganancia se vuelve más placentero y dispara un marcador somático positivo más fuerte. Así, los estados somáticos negativos preexistentes se refuerzan por los siguientes estados negativos, que impiden la efectividad de los positivos. De igual manera, los estados somáticos positivos preexistentes refuerzan los estados positivos, pero pueden impedir los negativos [32].

La mayor parte de las teorías de elección económica son desde una perspectiva cognitiva que asume que las decisiones se derivan desde una valoración a futuro sobre las ganancias de diversas opciones y alternativas a través de algún análisis de costo beneficio [51]. Sin embargo pocas teorías colocan a la emoción como un factor en la toma de decisiones. La teoría de las perspectivas [98] sugiere que los individuos toman decisiones de manera irracional, contrario a la creencia popular. Los autores demuestran que las personas que toman las decisiones, están dispuestos a tomar grandes riesgos cuando se encuentran en una situación de pérdida, pero evitan el riesgo en situaciones de ganancias. De manera sencilla, a la gente no le gusta perder. Por último, existe una polémica sobre la validez de la hipótesis del marcador somático. Sin embargo, Ohira [76] presenta cómo las emociones son importantes para la toma de decisiones. Además Barnaby D. Dunn [11] presentan una evaluación crítica, en la cual se concluye, que al tiempo que se presenta una teoría elegante de cómo las emociones influyen en la toma de decisiones, la hipótesis del marcador somático requiere apoyo empírico adicional para permanecer sostenible.

2.5. Logística

El caso de estudio es un problema de logística, el cual corresponde a la distribución de paquetes. Por este motivo esta sección introduce algunos de los aspectos que se deben de considerar dentro de la toma de decisiones en logística. Brevemente se da una introducción de logística y se muestran los aspectos a considerar dentro de la toma de decisiones en el área de logística. Después se muestran las formas más comunes de evaluar una solución logística y por último se presenta un problema particular dentro del área de logística, el cual corresponde a el caso de estudio de esta tesis.

2.5.1. ¿Qué es Logística?

De acuerdo a la Real Academia Española [72] la logística es definida como el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución. Además, de acuerdo al consejo de administración logística, es el proceso de planificar, implementar y controlar la eficiencia, el flujo efectivo y almacenes de bienes, servicios o información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el propósito de ajustarse a las necesidades del cliente [15].

El objetivo de la administración logística es ser eficiente a un costo eficaz.

Una red logística consiste en conjunto de proveedores, centros de manufactura, almacenes, centros de distribución así como tiendas de menudeo, tanto para el producto como para los materiales [15].

2.5.2. Toma de Decisiones Logísticas

Hax y Candea [56] mencionan que las decisiones logísticas son típicamente clasificadas de la siguiente manera:

- Nivel estratégico. Este nivel maneja decisiones que tienen efecto duradero en la empresa. Incluye las decisiones sobre el número, ubicación y capacidad de los

almacenes y plantas de fabricación, o el flujo de material a través de la logística de la red.

- Nivel táctico. Incluye las decisiones que se actualiza en cualquier lugar entre cada trimestre o una vez al año. Esto incluye las decisiones de compra y producción, políticas de inventario y las estrategias de transporte, incluyendo la frecuencia con que los clientes son visitados.
- Nivel operacional. Este nivel se refiere a las decisiones de día a día, tales como calendarización, rutas y camiones de carga.

Existen diferentes enfoques conceptos y herramientas que ayudan para la toma de decisiones dentro de un problema de logística. Algunos de ellos son: modelos de datos orientado a objetos; hojas de cálculo; simulación; algoritmos de programación lineal y entera; modelos estratégicos, tácticos y operacionales; heurísticas; sistemas de información geográfica y bases de datos. Sin embargo, dado la amplitud y complejidad dentro de la logística, no existe el mejor enfoque, la mejor representación, el mejor modelo, o el mejor algoritmo para optimizar las decisiones logísticas. Sin embargo, brindan un apoyo a la toma de decisiones del gerente de logística si se trabajan adecuadamente y en un modelo compuesto [81].

2.5.3. Evaluación de Técnicas de Solución

Tradicionalmente existen algunos métodos empleados para evaluar las heurísticas y los métodos de proximidad [15], los cuales son los siguientes:

- Comparación empírica. Se elige un conjunto de problemas representativos y se compara el desempeño de una variedad de heurísticas. La comparación puede ser basada en la calidad de la solución o en el tiempo computacional, o ambas.
- Análisis del peor caso. En este tipo de análisis, se determina la máxima desviación de optimalidad, en términos de error relativo, que una heurística pueda incurrir en cualquiera instancia del problema.

- Análisis del caso promedio. El propósito es determinar una heurística de desempeño promedio. Se establece un error relativo entre la solución heurística y la solución óptima bajo específicas suposiciones en la información del problema de distribución.

Debido a las diferentes ventajas de cada uno de estos análisis, deben de ser tratadas como enfoques complementarios en vez de competitivos.

2.5.4. Ejemplo: Gestión de Flotas de Vehículos

Un depósito suministra productos a un conjunto de tiendas con una flota de vehículos de capacidad limitada. Un operador es el encargado de asignar las cargas de los vehículos y determinar las rutas de los vehículos. En primer lugar, el distribuidor debe de decidir cómo dividir los minoristas en grupos que pueden ser atendidos por un vehículo, eso es, que aquellas entregas entren en el vehículo. En segundo lugar, el depachador debe de decidir que secuencia debe de usar para minimizar los costos. Típicamente, una de dos funciones de costos es posible: en el primero el objetivo es minimizar el número de vehículos usado, mientras en el segundo se enfoca a reducir la distancia total de viaje [15].

Este ejemplo servirá de referencia para el caso de estudio de esta tesis.

Capítulo 3

CABEN: Arquitectura Neurocognitiva Basada en Experiencias

En este capítulo se describe nuestra propuesta, la cual es una arquitectura neurocognitiva para el modelado de agentes cognitivos y es la principal contribución de esta tesis. El capítulo está dividido en seis secciones.

En la primera sección introducimos el concepto de arquitectura neurocognitiva. En la segunda sección se realiza una revisión general de CABEN. En la tercera sección se presentan los objetivos de esta arquitectura. En la cuarta sección se presenta la descripción de la arquitectura en un modelado de alto nivel así como cada uno de sus componentes. En la quinta sección se presenta el funcionamiento general de CABEN. Finalmente en la sexta sección se concluye presentando las capacidades, ventajas y limitantes de la arquitectura.

3.1. Arquitectura Neurocognitiva

En el capítulo dos se presentó una arquitectura cognitiva y algunas de las habilidades y capacidades que deben de presentar. Sin embargo, dada la incorporación de las neurociencias a las ciencias cognitivas, donde se sigue resolviendo temas como la

memoria, el aprendizaje y la percepción en el cerebro, se realiza una distinción entre dos tipos de arquitecturas generales dentro de inteligencia artificial: las arquitecturas cognitivas [99] y las arquitecturas neurocognitivas [58]. Donde el diseño de las arquitecturas cognitivas es basado en las ciencias cognitivas y del comportamiento humano, mientras el diseño de las arquitecturas neurocognitivas es basado en las neurociencias cognitivas. Es decir, el funcionamiento de las arquitecturas cognitivas es basado en el funcionamiento de la mente, mientras el funcionamiento de las arquitecturas neurocognitivas es basado en el funcionamiento del cerebro y la mente.

3.2. Revisión General de CABEN

CABEN ofrece una solución para agentes cognitivos que intentan resolver problemas de toma de decisiones mediante el uso de experiencias. De esta manera de acuerdo a la cantidad de experiencias que tenga CABEN, será la decisión que tomará. Es decir, CABEN puede tomar una decisión diferente cada vez que se encuentre bajo el mismo escenario, ya que la decisión estará basada en las experiencias que tenga.

La arquitectura es sencilla en su diseño pero lo suficiente completa para resolver varios problemas. Al dividir la arquitectura en diversos módulos se facilita además la comprensión y el uso de esta arquitectura.

Una de las diferencias de esta arquitectura con otras existentes es la incorporación del factor de emoción a las experiencias para la toma de decisiones. Esta emoción puede ser dada en términos de castigo o recompensa, lo cual produciría que ciertas acciones sean evitadas o preferidas, de acuerdo a las experiencias anteriores. Es decir, acciones que por experiencia conllevan a resultados no deseados se evitarán mientras las acciones que por experiencia conllevan resultados satisfactorios se preferirán.

3.3. Objetivos

El principal objetivo de CABEN es desarrollar una arquitectura neurocognitiva sencilla que ayude al desempeño de un agente cognitivo en la toma de decisiones a

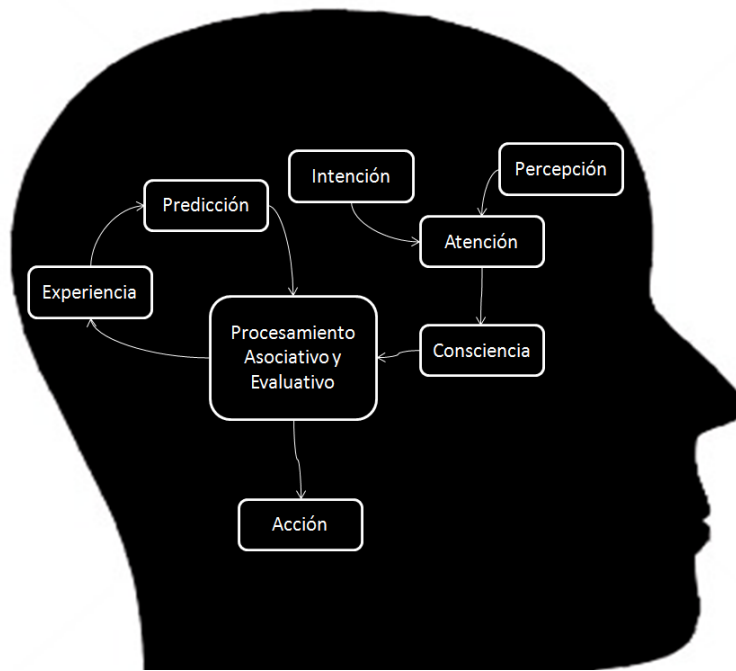


Figura 3.1: Estructura de CABEN

través del tiempo.

Otra diferencia de esta arquitectura es la incorporación del factor de emoción a las experiencias para la toma de decisiones.

3.4. Descripción de CABEN

Para nuestra propuesta hemos tomado como referencia el modelo de la mente modular [43]. Este modelo plantea el esquema de modularidad, el cual es una buena solución para simplificar el entendimiento de la mente. Además Kurzban [61] señala que la mente humana consiste en demasiados procesos, que se podrían ver como pequeñas subrutinas, cada una operando a su manera lógica, diseño de un proceso inexorable de selección natural. Por otra parte las neurociencias dividen el cerebro en áreas, donde cada área se encarga de una tarea específica. Por ejemplo existe una región del cerebro utilizada para la percepción mientras otra área es utilizada para la cognición espacial [95].

Dado que nuestra propuesta es una arquitectura neurocognitiva, la descripción de CABEN y su funcionamiento toman de referencia los estudios de neurociencias incluídos en el marco teórico del capítulo dos.

CABEN se divide en ocho módulos, los cuales son: percepción, intención, atención, consciencia, experiencia, predicción, acción, procesamiento asociativo y evaluativo.

El cerebro tiene diferentes módulos conectados entre sí. De manera análoga los módulos de CABEN pueden estar interconectados. Sin embargo, presentamos una propuesta la cual presenta las conexiones principales entre los módulos con fines de simplicidad la cual se muestra en la figura 3.1.

Cada módulo maneja diferente información, por ejemplo, el módulo de percepción maneja percepciones, mientras el de consciencia escenarios. Es por ello que en la descripción de cada módulo se define la información que maneja, así como la integración de la información de otros módulos. También proponemos una estandarización de la información que cada módulo maneja con el objetivo de lograr una unificación e interconexión entre los diferentes módulos.

3.4.1. Módulo de Percepción

El cerebro humano posee áreas encargadas a la percepción del mundo a través de imágenes como es la corteza visual, sonidos a través de la corteza auditiva, etcétera [95]. Mediante estas percepciones el cerebro humano puede acceder a parte de su entorno. Es decir, no se tiene un acceso directo al mundo; sólomente se tienen percepciones del mundo. Así el modelo del mundo que el humano tiene es a través de las percepciones [44]. De igual manera dentro de la arquitectura se incluye un módulo encargado de procesar las percepciones del mundo.

Además el cerebro cuenta con un sistema somatosensorial, el cual comprende un complejo organismo consistente en centros de recepción y proceso, cuya función es advertir las percepciones internas, las cuales permiten al cerebro conocer la situación interna del cuerpo para su conservación, tales como la temperatura, la propiocepción (posición del cuerpo) y la nocicepción (dolor) [95].

Es de vital importancia la integración de este módulo en la arquitectura debido a

que éste permite al agente cognitivo acceder al entorno que lo rodea para actuar de acuerdo a éste. Las percepciones no se limitan a ser únicamente visuales o auditivas. Pueden ser inferidas mediante cualquier sensor al medio, algunos de ellos pueden ser, acelerómetro, sensor de ultrasonido, rayos infrarrojos, etcétera.

Una percepción dentro de la arquitectura se define como la interpretación de la información del entorno, que es adquirida mediante señales obtenidas mediante los diferentes dispositivos sensoriales que el agente posea.

Cada percepción se sugiere que debe de incluir los siguientes elementos: *tipo de percepción*, *origen*, *objeto*, *características* y *tiempo*. El *tipo de percepción* se refiere a si es auditiva, visual, olfativa, etcétera. El *origen* se refiere a la fuente de dónde proviene la percepción. El *objeto* se refiere a la interpretación de lo percibido, el cual se asocia a un objeto. En este caso se presupone que el agente distingue lo percibido con una interpretación. Las *características* corresponden a una lista de descripciones del objeto asociado. El *tiempo* se refiere, al momento en que fue percibido. Cabe señalar que si la percepción es incompleta, los campos indefinidos se identificarán cómo nulos. Un par de ejemplos de percepciones completas serían:

`Perception(Auditive, Viola, Note, (G Major, Loud), 12).`

Esta percepción indica que mediante un dispositivo auricular se percibió en el tiempo 12 una nota proveniente de una viola con las características de ser sol mayor y de alto volumen.

`Perception(Visual, Machine, Button, (flashing), 10).`

Esta percepción indica que mediante un sensor visual se percibió en el tiempo 10 un botón que proviene de una máquina con la característica de estar parpadeando.

Un ejemplo de percepción incompleta sería:

`Perception(Auditive, null, Steps, (near), 10).`

A veces algunas percepciones no se puede determinar el origen, o algún otro atributo, en este ejemplo la percepción se recibe de manera auditiva en el tiempo 10, la cual corresponde a sonidos de pasos con la característica de escucharse cerca.

3.4.2. Módulo de Intención

Muchas de las acciones humanas que se realizan día a día parecen ser dependientes de un tipo de libre albedrío. Esta secuencia de eventos (por ejemplo el motor de movimiento volitivo[86]) brinda al ser humano la sensación de control. Es decir, el ser humano actúa conforme quiere actuar, formulando una intención sobre la acción a realizar [54]. Además la dopamina juega un rol como motivador para cumplir las intenciones y los deseos [92].

De manera análoga se incorpora un módulo de Intención ya que se encarga de procesar objetivos a alcanzar en un futuro de corto plazo. Ya que de igual manera todo ser vivo sirve para un propósito, un agente se crea con un propósito en mente. Una intención dentro de la arquitectura se define como un deseo u objetivo a realizar, la cual servirá para centrar la atención. Un ejemplo de intención es cuando el agente percibe que tiene poca energía, entonces se genera la intención de recarga y se planifica cómo lograrlo mediante una serie de intenciones.

Por lo consiguiente, un plan es una cadena de intenciones secuenciales que se deben transformar en acciones para lograr el objetivo de realizar dicho plan. Cada intención debe contener los siguientes elementos: *tipo de intención*, *acción*, *nivel de prioridad*, *tiempo*. El *tipo de intención* corresponde a si debe ser repetitivo, reactivo, de observación o único. La *acción* corresponde a la intención, es decir a lo se quiere lograr alcanzar. El *nivel de prioridad* se refiere a la jerarquía de importancia entre las diferentes intenciones. El *tiempo* se refiere al tiempo estipulado para lograr que la intención sea realizada o bien en caso de ser repetitiva corresponde al periodo en el cual se debe reformular la intención.

A continuación se presenta un ejemplo para cada tipo de intención:

```
Intention(repetitive, review connection, medium, 20).
```

Esta intención corresponde a una de tipo repetitivo, la cual indica revisar la conexión cada 20 tiempos con una prioridad media.

```
Intention(reactive, charge when low battery, high, 30).
```

Esta intención corresponde a una de tipo reactivo, la cual es realizar una carga cuando se tenga la batería a nivel bajo, es de prioridad alta y tiene 30 tiempos para

realizar esta carga antes de que se apague el sistema.

```
Intention(observation, observe pendulum after release, high, 5).
```

Esta intención sirve para mantener la atención sobre el objeto péndulo por 5 tiempos, ya que se desea ver las consecuencias de una acción para realizar un refuerzo.

```
Intention(unique, read book, low, 40).
```

Este tipo de intención es de propósito único, la cual corresponde a leer un libro con una prioridad baja, el tiempo corresponde a que el agente tiene 40 tiempos para que ejecute esta tarea. En caso que el agente no pueda realizar esta tarea, la intención se marca como insatisfecha y puede ejecutar tareas de replanificación para lograr el objetivo, extensión de tiempo u otras medidas.

3.4.3. Módulo de Atención

Como se menciona en el estudio de neurociencias, de acuerdo al modelo multi almacenamiento [7] se cuenta con una memoria sensorial, la cual permite almacenar la información percibida por un breve instante. La información relevante de la información percibida se pasa a la memoria de corto plazo filtrando información innecesaria de tal manera que se preserve por más tiempo. Además, la atención juega un rol importante en la carga perceptual [21] [38] [68].

Así, dentro de la arquitectura se incluye el módulo de atención, el cual se dedica a realizar una tarea similar. El módulo de atención recibe la información percibida en el módulo de percepción y la información del módulo de intención, para filtrar la información percibida del entorno, de tal manera que la intención se transforme en acción, para después, la información que se filtre en el módulo de atención se transmita al siguiente módulo.

La información que se filtra por este módulo la denominamos filtro. Un filtro dentro de la arquitectura lo definimos como una asociación entre la información percibida del entorno con su respectiva intención. Es decir, de acuerdo a una intención formada,

se presta atención sólo a las percepciones necesarias para lograr satisfacer la intención. Así un filtro es la unión de ambos elementos: *intención y percepción*. Dónde la *percepción* y la *intención* contienen sus propios elementos y tienen un vínculo en común. Puede darse el caso en el que una intención se asocie con dos percepciones, las cuales se pueden crear dos filtros.

Un ejemplo de filtro es el siguiente:

```
Filter(Intention(reactive, keep temperature less than 24, high, 10),  
Perception(Temperature sensing, room, temperature, 25, 1)).
```

La intención es de tipo reactiva y el objetivo es mantener la temperatura menos de 24 grados, es de prioridad alta y cuenta con 10 tiempos para lograrse.

La percepción es mediante un sensor de temperatura, donde la temperatura que proviene de la habitación tiene 25 grados y se percibió en el tiempo 1.

En este caso es fácil determinar la relación entre la percepción y la intención. Dado que es importante lograr mantener la habitación fresca es necesario prestar atención a la temperatura, de lo contrario sería información irrelevante.

A continuación se muestra un ejemplo de una intención y dos percepciones recibidas al mismo tiempo donde en una existe una relación y debe de realizarse un filtro mientras que la otra percepción debe de ser descartada.

```
Intention(Reactive, eat when hungry, high, 15).  
Perception(Visual, table, glass of water, full, 1).  
Perception(Visual, table, apple, red, 1).
```

En este caso puede apreciarse que la intención corresponde a una reactiva, que es comer cada vez que se tenga hambre. Las percepciones corresponden a dos objetos vistos en una mesa en el tiempo 1. Los objetos son una manzana roja y un vaso de agua lleno. Dado que lo que se requiere es comer, el agente debe de ignorar el vaso de agua ya que no necesita realizar nada con el vaso de agua, sin embargo sí requiere realizar actividades con la manzana, como es agarrarla, quizá pelarla, etcétera. Es por ello que debe de crearse el siguiente filtro:

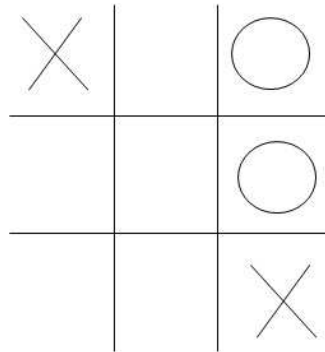


Figura 3.2: Juego de Gato

```
Filter(Intention(Reactive, eat when hungry, high, 15),  
Perception(Visual, table, apple, red, 1)).
```

3.4.4. Módulo de Consciencia

Anteriormente en el capítulo dos se mencionan los estudios actuales sobre la consciencia y la importancia de ella [42] [36] [30]. Por tal motivo, la arquitectura incorpora un módulo de consciencia, encargado de interpretar la información actual de la información percibida tanto externamente como internamente filtrada por el módulo de atención para crear un escenario de la situación actual. De esta manera se podrá realizar un proceso evaluativo para la toma de decisiones.

La información que el módulo de consciencia envía al siguiente módulo es a través de un escenario, donde se plantea de manera conceptual el objetivo y las alternativas que existen de acuerdo a las percepciones.

Dentro de la arquitectura un escenario se define como los filtros recibidos por el módulo de la atención más posibles acciones o planes a ejecutar para realizar una evaluación correspondiente.

Un escenario se representa mediante los siguientes elementos: *filtros*, *alternativas*. Donde las *alternativas* son el conjunto de operaciones o planes que se pueden realizar o ejecutar de acuerdo a las percepciones filtradas.

Por ejemplo, en el juego del gato, se percibe el juego de la figura 3.2. Descrito dentro de la arquitectura la percepción sería:

```
Perception(Visual, game, my turn, (x, blank, 0, blank, blank, 0, blank, blank, X), 5).
```

La intención correspondiente sería:

```
Intention(Desire, win game, medium, 9).
```

Después del filtro el cual es la unión de la percepción y la intención, el módulo de consciencia sería:

```
Scenario(Filter(...), mark X in first blank space, mark X in second blank space, ..., mark X in fifth blank space).
```

3.4.5. Módulo de Experiencia

De acuerdo al modelo multi almacenamiento [7], el cerebro tiene un lugar de almacenamiento fijo al cual se le denomina memoria de largo plazo. Sin embargo se sabe que las experiencias modifican continuamente el cerebro adulto debido a la neuroplasticidad o plasticidad sináptica [100].

Además de acuerdo a la hipótesis del marcador somático [31] y el condicionamiento de Pavlov [31] así como la teoría del refuerzo [92], se asocia una emoción a una experiencia. De manera sencilla se puede analizar las emociones en términos de recompensa o castigo. De esta forma, dentro de la arquitectura se mapea la memoria de largo plazo en un módulo de experiencia. Se le denomina de experiencia debido a que almacena información en forma de experiencias. Este módulo tiene almacenado el modelado del mundo a través de experiencias.

Dentro de la arquitectura una experiencia se define como una acción previamente realizada en un escenario con sus consecuencias observadas, así como una emoción asociada y el nivel de refuerzo que tiene.

Por ello una experiencia se conforma de los siguientes elementos: *acción*, *consecuencias*, *escenario*, *emoción* y *nivel de refuerzo*. Donde el campo *acción* es la tarea que se realizó previamente, brindando las *consecuencias* en el segundo campo, el *escenario* en el cual se realizó la acción y la *emoción* que brindó en términos de aversión o

incentivo. En escenarios más complejos se sugiere manejar la emoción como el grado de satisfacción que se brinda dentro de una escala. El *nivel de refuerzo* es la cantidad de veces que se ha realizado esa acción brindando las mismas consecuencias.

De manera ilustrativa se muestran un par de ejemplos de experiencias donde se presenta la misma acción pero con diferentes escenarios:

```
Experience(Eat, Energy, Hungry, Happy, 15).
```

Esta experiencia se tuvo en un escenario donde se comió en un estado de tener hambre y trajo como consecuencia más energía y una emoción positiva. Dicha experiencia se repitió 15 veces.

```
Experience(Eat, Sick, Not Hungry, Bad, 3)}.
```

Esta experiencia se tuvo en un escenario donde se comió en un estado de saciedad y trajo como consecuencia el sentirse enfermo y una emoción negativa. Dicha experiencia se repitió 3 veces.

A continuación se describen dos ejemplos de experiencias de acuerdo a la estandarización empleada dentro de la arquitectura. Para ello se tienen los dos filtros siguientes:

```
Filter(Perception(Visual, pathA, highway entrance, full, 1 ),
Intention(Unique, travel to the next city, medium, 20)).
Filter(Perception(Visual, pathB, , road, empty, 1), Intention(Unique,
travel to the next city, medium, 20)).
```

El primer filtro corresponde a que se observó la entrada de la autopista llena en el tiempo 1, mientras el segundo corresponde a que se observó la carretera vacía. La intención para ambos filtros es viajar a la siguiente ciudad en 20 tiempos o menos. Entonces el escenario sería de la siguiente manera:

```
Scenario(FilterA(...), FilterB(...), take the highway, take road).
```

El escenario que se tiene corresponde a tener dos opciones, tomar la autopista o la carretera libre para viajar a la siguiente ciudad. Sin embargo la carretera se ve

despejada mientras la entrada de la autopista se observa llena.

De esta manera, bajo el mismo escenario se tienen las siguientes experiencias:

```
Experience(take road, arriving punctually, Scenario(...), satisfied, 4).
```

```
Experience(take highway, arriving late, Scenario(...), unsatisfied, 2).
```

La primera experiencia marca que cuando se tomó la carretera cuando está despejada se llegó puntual en 20 tiempos en 4 ocasiones. Si la intención fuera diferente y se requiere llegar en 10 tiempos, entonces se tendría otro escenario y sería otra experiencia.

La segunda experiencia marca que cuando se tomó la autopista cuando estaba la entrada llena, se llegó tarde, es decir, se tomó más de 20 tiempos para llegar, por lo cual el resultado es insatisfactorio y se realizó dos veces.

Mediante el conjunto de experiencias se puede determinar que opción es mejor de acuerdo a los diferentes escenarios que se planteen. De igual forma, en dado caso que dos experiencias logren el objetivo, pueden ser ordenados de acuerdo a preferencias. Un criterio viable de preferencias es sobre las veces que ha funcionado en comparación de las veces que ha fallado.

Cabe señalar que en este ejemplo, mediante la hipótesis del marcador somático, se descarta totalmente la posibilidad de tomar la autopista por las experiencias negativas que se tienen. En una situación donde se tengan más opciones, las que han dado resultados negativos previamente, son descartadas automáticamente como una forma heurística de acuerdo a la hipótesis del marcador somático.

3.4.6. Módulo de Predicción

El cerebro humano reacciona a determinados movimientos externos antes de que se produzcan, debido a que el cerebro tiene un mecanismo de predicción [9]. Además existe un bucle entre la percepción y la predicción [44] que fue descrito en el capítulo dos.

Por ello, se introduce un módulo de predicción a la arquitectura, con el objetivo de mejorar el procesamiento evaluativo.

En base a la información de una experiencia se pueden predecir las diversas consecuencias y emociones que conllevan una acción. Sin embargo, en escenarios incompletos, es necesario predecir, en base a escenarios anteriores. Es decir, relacionando experiencias similares. De esta forma se puede rellenar la información incompleta, o bien, en caso de no tener una experiencia sobre el escenario actual se asocia tomando como referencia una experiencia similar.

Existen dos maneras de realizar una predicción. La primera es mediante una percepción incompleta, realizando una búsqueda de experiencias con percepciones similares. La segunda es predicción sobre un resultado mediante la asociación de la experiencia actual con otra similar.

Para ello vamos a denominar predicción de percepción a la primer tipo, mientras a la otra será predicción de resultado.

Una *predicción de percepción* contiene la *percepción incompleta* y sus diferentes alternativas de acuerdo a experiencias con *percepciones similares* dentro de un escenario del mismo contexto.

Una *predicción de resultado* contiene el *escenario actual*, y las *experiencias similares*.

Un ejemplo de predicción de percepción sería el siguiente:

De acuerdo a la siguiente percepción:

```
Perception(Visual, advertisement, Phrase, 'The movie A will be
launched on (null) day of July', 10).
```

Se tiene la percepción que indica que se observó un anuncio el cual contiene la frase: 'The movie A will be launched on day of July'. Donde el espacio en blanco o campo null es información que no se pudo observar. Quizá, porque un árbol cubrió la visibilidad o por cualquier otra situación. Sin embargo, se cuenta con la experiencia:

```
Experience(Watching Ad, interested, Scenario(..., Perception(...,
Phrase, 'The movie A will be launched on the fist day (null)', 9),
unsatisfied, 1)).
```

La cual indica que se observó una sola vez, en un tiempo anterior a la actual percepción, la frase: 'The movie A will be launched on the fist day (null)'.

De esta manera se unen ambas percepciones para formar una percepción completa,

mediante la siguiente predicción, ya que no es explícitamente percibida, sino se predice.

```
PredictionP(Scenario(Perception(Visual, advertisement, Phrase, 'The
movie A will be launched on (null) day of July', 10),...),
Experience(Watching Ad, interested, Scenario(..., Perception(...,
Phrase, 'The movie A will be launched on the first day (null)', 9),
unsatisfied, 1)), Perception(Visual, advertisement, Phrase, 'The movie
A will be launched on the first day of July).
```

La predicción por resultado se conforma por el escenario actual, la experiencia o las experiencias asociadas y la predicción del resultado o consecuencias.

Un ejemplo de predicción de resultado sería mediante la siguiente experiencia y el siguiente escenario:

```
Scenario(Filter(Intention(eat...), Perception(Odorus, fruit, pear,
stinky, 10 ))).
Experience(eat, sick, Scenario(Perception(Odorus, fruit, apple, stinky,
3),...), unsatisfied, 3).
```

La percepción indica que existe una pera apestosa en un frutero, mientras que la experiencia que se tiene es que se comió una manzana de un frutero que estaba apestosa y dió como resultado náuseas. Por consecuencia, aunque no se tenga la experiencia de comer una pera apestosa para averiguar los resultados, se predice. Sin embargo, no es explícita la experiencia, sino es una predicción sobre otra.

La predicción se tendría de la siguiente manera:

```
PredictionC(Scenario(Filter(Intention(eat...), Perception(Odorus, fruit,
pear, stinky, 10 ))), Experience(eat, sick, Scenario(Perception(Odorus,
fruit, apple, stinky, 3),...), unsatisfied, 3), sick).
```

3.4.7. Módulo de Procesamiento Asociativo y Evaluativo

A pesar de no tener un área específica en el cerebro sobre el razonamiento en general, estudios demuestran [95] que de acuerdo al tipo de información que se procesa,

se tienen identificadas regiones del cerebro que se asocian con dicha información. Por ejemplo, el procesamiento de lenguaje se encuentra en un área mientras que el razonamiento matemático en otra área.

Es por ello que para mantener la arquitectura simple, se asigna un sólo módulo de procesamiento. Este módulo incluye básicamente dos tipos de procesamiento. El primero es el procesamiento asociativo donde se realiza la asociación del escenario actual que proviene del módulo de consciencia con los distintos escenarios similares que se tienen en la experiencia. El segundo tipo de procesamiento es el evaluativo, el cual se encarga de valorar las opciones que se tienen para decidir cuál es la mejor opción a tomar.

En la sección 3.4 se detalla el funcionamiento de la arquitectura completa en general.

3.4.8. Módulo de Acción

El cerebro humano cuenta con diversas áreas para regular la parte motriz del cuerpo. Estas áreas son el área motriz del lóbulo frontal, los núcleos grises centrales situados al interior de los hemisferios cerebrales, el tronco cerebral y el cerebelo [95]. De manera análoga se designa un área diseñada para almacenar las acciones a realizar en determinado tiempo. Donde se puede realizar una planificación de movimientos de acuerdo a cada acción. Este módulo cuenta con los resultados después de que la toma de decisiones fue realizada sobre qué acción se va a realizar.

Dentro de la arquitectura una acción se define como la tarea a realizar dentro en un tiempo designado.

De esta manera una acción cuenta con los siguientes elementos: *acción*, *escenario*, *tiempo*, *resultados esperados*, *resultados obtenidos* y *emoción*. Donde de manera análoga a una experiencia se cuenta con una *acción* o tarea a realizar y un *escenario*. Sin embargo, se presentan dos tipos de resultados, los esperados y los obtenidos, donde los *resultados esperados* corresponden a lo que se sugiere por la experiencia y los *resultados obtenidos* son a través de una percepción. La *emoción* corresponde a si los resultados esperados corresponden a los obtenidos y satisfacen la intención, entonces se presenta una emoción positiva y se realiza un refuerzo a la experiencia, de lo contrario se realiza un decremento en la experiencia.

Un ejemplo de una acción verificada de cada tipo sería:

```
Action(Take Medicine, Scenario(Intention(Reactive, Sick, get
better),\ Perception(..., Sick, ...)), 5, Healthy, Healthy, Satisfied).
```

3.5. Funcionamiento General de CABEN

CABEN está diseñado para la toma de decisiones basándose en experiencias y escenarios. A continuación se presenta el funcionamiento general de CABEN dividido en etapas. A la par se muestra un problema chico en particular a manera de ejemplo, para ilustrar el funcionamiento.

Para simplificar el funcionamiento de CABEN, hemos dividido el funcionamiento general en etapas. Cada etapa corresponde al envío de información entre módulos. El funcionamiento de CABEN se divide en siete etapas para la ejecución de una acción y en cuatro etapas posteriores para aplicar el refuerzo de una experiencia.

El problema que servirá de ejemplo es el siguiente:

Un agente debe determinar entre dos manzanas que estan colocadas en un frutero cuál es la que debe elegir, suponiendo que el agente tiene por experiencia que las manzanas amarillas y aromáticas son dulces, mientras las manzanas café y descompuestas causan problemas en la digestión.

Primero se presenta la ejecución de una acción desde la entrada de datos o percepción en sus siete etapas. Después se presenta el refuerzo de los resultados de la acción en tres etapas.

Etapas 1: Dentro de esta etapa se realizan las percepciones del entorno en un determinado tiempo. Después se interpretan los datos en diferentes percepciones determinando el origen y las características del objeto o los objetos percibidos dentro del módulo de percepción. Al mismo tiempo se activan o desactivan las intenciones correspondientes en ese determinado tiempo en el módulo de intención.

En el ejemplo se activa el deseo de comer manzanas dentro del agente. Se realizan 3 percepciones sobre los objetos visibles, los cuales corresponden a las dos manzanas

y al frutero. De manera formal en CABEN, las percepciones y la intención quedarían de la siguiente forma:

```
Perception(visual, table, fruiterer, small, 1).  
Perception(visual, fruiterer, apple, (yellow, smells good), 1).  
Perception(visual, fruiterer, apple, (brown, stinks), 1).  
Intention(Reactive, eat, high, 3).
```

Etapas 2: En esta etapa se realiza la asociación entre las percepciones y las intenciones activas en un mismo tiempo determinado dentro del módulo de atención, creando filtros de información relevante actual. Toda información percibida irrelevante es descartada.

En el ejemplo se realiza el filtro asociando las percepciones con la intención actual. De manera que se ignora el frutero, así como las acciones que se pueden realizar sobre este y se consideran las dos manzanas, las cuales se pueden comer. Así se crean dos filtros. De esta forma los filtros quedarían:

```
Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3), Perception(visual, fruiterer,  
apple, (yellow, smells good), 1)).  
Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3), Perception(visual, fruiterer,  
apple, (brown, stinks), 1)).
```

Etapas 3: Esta etapa crea escenarios en el módulo de consciencia con los filtros creados por la atención. Donde se determinan las posibles acciones o planes (en caso de existir) que se pueden realizar para el escenario actual.

En el ejemplo se crean dos escenarios, y se supone que CABEN conoce las acciones que se pueden realizar en un objeto. Así que las acciones posibles a realizar con una manzana, independientemente de sus características es comer o tirar a la basura. De manera formal los escenarios son de la siguiente forma:

```
Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3), Perception(visual,  
fruiterer, apple, (yellow, smells good), 1)), eat, throw to trash).
```

Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3), Perception(visual, fruiterer, apple, (brown, stinks), 1)), eat, throw to trash).

Etapa 4: Esta etapa se realiza en el módulo de experiencia con el procesamiento asociativo, el cual corresponde a vincular el escenario actual con experiencias anteriores mediante una búsqueda.

Basándonos en la suposición de que CABEN cuenta con la experiencia de presentar molestias cada que se come una manzana de color café y descompuesta, así la intención se concluye de manera insatisfactoria, al contrario de la experiencia de la manzana amarilla y que huele bien. De acuerdo a la descripción de CABEN las experiencias serían de la siguiente forma:

Experience(eat, disgust, Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3), Perception(visual, fruiterer, apple, (brown, stinks), 1)), eat, throw to trash), unsatisfied, 3).

Experience(eat, pleasure, Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3), Perception(visual, fruiterer, apple, (yellow, smells good), 1)), eat, throw to trash), satisfied, 6).

Etapa 5: Esta etapa se realiza en el módulo de predicción donde, en caso de tener percepciones incompletas se realiza una predicción sobre las percepciones. De igual manera en caso de no encontrar una experiencia asociada al escenario actual se realiza una predicción de resultados bajo experiencias similares, si no existen experiencias similares, no se puede realizar una predicción por lo que se recurre a la elección al azar en la siguiente etapa.

Cabe señalar que no existen escenarios iguales, pero en términos funcionales podría decirse que sí, ya que el objetivo es resolver el problema de manera sencilla. De lo contrario se deberán realizar muchas predicciones de experiencias similares, aumentando la complejidad del problema.

En el ejemplo, se cuentan con percepciones completas lo que implica que no es necesario realizar una predicción sobre estas. Y de igual forma al contar con experiencias previas con escenarios iguales, no es necesario realizar predicción alguna.

Etapa 6: Esta etapa se desarrolla dentro del módulo de procesamiento asociativo y evaluativo, el cual contiene el escenario actual, puede contener información sobre las experiencias pasadas en caso de existir bajo el escenario actual y puede contener predicciones. Primero se analiza el escenario actual y en caso de existir experiencias pasadas, se determina la acción a ejecutar de acuerdo a los mejores resultados la intención actual, creando así una preferencia de acciones. Esta preferencia se actualiza constantemente conforme los refuerzos de experiencias sean realizadas. En caso de no existir experiencias pasadas, se determina mediante las predicciones de resultados, creando una preferencia sobre los mejores resultados. Si no existen experiencias pasadas ni predicciones sobre experiencias similares, se determina que es un nuevo escenario, el cual se procede a tomar una acción al azar dentro de las posibles acciones que se pueden realizar para el escenario actual.

En el ejemplo, dentro de esta etapa se realiza la evaluación de que acción realizar. Es evidente que CABEN debe de optar por comer la manzana amarilla y que tiene un buen olor. Se podría realizar la opción de tirar a la basura la otra manzana, pero en este caso solo se evita, ya que la intención es comer. El tirar a la basura la manzana café y descompuesta corresponde a otra intención, la cual podría ser limpiar.

Etapa 7: El agente ejecuta la acción determinada para el escenario actual en el módulo de acción. Al mismo tiempo se crea una intención de observación para evaluar los resultados de la acción.

Aquí podría aplicar el incremento de tiempo.

En el ejemplo, conforme a la decisión tomada, la acción a realizar es comer la manzana amarilla. Por lo cual la acción sería:

```
Action(eat, Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3),
Perception(visual, fruiterer, apple, (yellow, smells good), 1))), eat,
throw to trash) ,2, pleasure, null, null).
```

Etapa 8: Se realiza una percepción del escenario actual en el módulo de percepción con la observación de las consecuencias de la acción realizada por el módulo de

intención, la cual fue activada en el módulo de acción en la etapa anterior.

Para realizar un refuerzo de la experiencia completa en el ejemplo es necesario evaluar los resultados. Para ello se activó la intención de observar. Además en este caso se percibe el mismo frutero y la manzana café. Pero además existe una percepción interna que corresponde a un estado de saciedad. Además se desactiva la intención de comer que tenía duración de 3 tiempos, pues el objetivo de comer fue logrado. Quedaría de la siguiente forma:

```
Perception(visual, table, fruiterer, small, 1).  
Perception(visual, fruiterer, apple, (brown, stinks), 1).  
Perception(internal, internal, me, not hungry, 1).  
Intention(Observation, eat, high, 1).
```

Etapa 9: Se realiza un filtro sobre lo que se desea observar en el módulo de atención.

En el ejemplo se crea el filtro en base a la intención de observar:

```
Filter(Intention(Observation, eat, high, 1), Perception(internal,  
internal, me, not hungry, 1)).
```

Etapa 10: Se refuerza o atenúa una experiencia anterior en caso de existir, de lo contrario se crea una nueva experiencia y se almacena en el módulo de experiencia. De igual manera se determinan si las consecuencias esperadas corresponden con las actuales creando una emoción y guardarlo en el módulo de experiencia, así como temporalmente en el módulo de acción. A su vez, puede desactivarse la intención una vez que se ha alcanzado el objetivo o meta.

Para el caso en el ejemplo, se incrementa una experiencia a la previa, creando un refuerzo.

```
Experience(eat, pleasure, Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat,
```

```
high, 3), Perception(visual, fruiterer, apple, (yellow, smells good), 1)),  
eat, throw to trash), satisfied, 7).
```

Además se llenan los campos del módulo de acción, acertando en lo esperado, creando una emoción positiva.

```
Action(eat, Scenario(Filter(Intention(Reactive, eat, high, 3),  
Perception(visual, fruiterer, apple, (yellow, smells good), 1))), eat,  
throw to trash) ,2, pleasure, pleasure, satisfied).
```

Así se completa la ejecución de CABEN desde la percepción hasta la actualización del refuerzo. Cabe señalar que el funcionamiento de CABEN podría modificarse para distintos problemas que puedan presentarse.

3.6. Capacidades, Ventajas y Limitantes

CABEN al ser una arquitectura, presenta algunas de las capacidades de las arquitecturas cognitivas mencionadas en el capítulo dos. De igual forma, CABEN es una propuesta, por ende, CABEN cuenta con algunas ventajas considerables y con algunos limitantes. Primero se hablarán de las capacidades, luego de las ventajas y por último los limitantes.

3.6.1. Capacidades

Se hará una recapitulación de las habilidades y capacidades mostradas en el capítulo dos y cómo CABEN las maneja.

Reconocimiento y Categorización

CABEN realiza el reconocimiento de situaciones y eventos familiares al realizar una búsqueda de las experiencias iguales o similares. De igual manera la categorización de la información se logra al acotar la percepción a un objeto. Sin embargo, CABEN al estar enfocado a un paradigma de programación declarativa, todo debe ser descrito

de manera explícita.

Toma de decisiones y Elección

La toma de decisiones se realiza en el módulo de procesamiento asociativo y evaluativo, logrando tres formas distintas para tomar una decisión en términos de riesgo. La primera es con la certeza al experimentar una experiencia igual a una previa. La segunda es cuando existe cierta incertidumbre y se debe predecir el resultado de experiencias similares, dando preferencia a unas acciones sobre otras. La tercera es totalmente azarosa, en donde el escenario es totalmente nuevo. Entre mayor sea la cantidad de experiencias que CABEN posea, mejor será la elección.

Percepción y evaluación de la situación

La percepción en CABEN se realiza mediante la entrada de datos a través de percepciones en el módulo de percepción. La evaluación de la situación actual, es mediante la creación de escenarios en el módulo de consciencia.

Predicción y Monitoreo

CABEN cuenta con un módulo enfocado a la predicción tanto de la percepción así como de resultados. El monitoreo se realiza a través del refuerzo de experiencias, así como la introducción de nuevas.

Solución de Problemas y Planificación

La planificación se da en términos de las intenciones a ejecutar. Así que CABEN puede resolver problemas de planificación a través de este método. En el próximo capítulo se mostrará CABEN basado en planes.

Razonamiento y Revisión de Creencias

El razonamiento dentro de CABEN se realiza mediante una evaluación de las experiencias. La revisión de creencias se realiza mediante la constante actualización de experiencias, donde de manera implícita una experiencia es una creencia.

Ejecución y Acción

Por la manera en que funciona CABEN, solo se muestran las acciones a realizarse en el módulo de Acción.

Interacción y Comunicación

Dentro de la interacción con otros agentes, CABEN puede recibir entrada de datos a través del módulo de percepción de otros agentes. Sin embargo, CABEN todavía no está considerada para ser multi agente.

Recuerdo, Reflexión y Aprendizaje

CABEN posee la habilidad de recordar todo a través de experiencias, así como también aprendiendo nuevas o reforzando las anteriores. De tal manera que se logra una evolución conforme más experiencias son aprendidas. Por este motivo, un agente que implemente CABEN puede denominarse evolutivo [2].

3.6.2. Ventajas

CABEN posee, diversas ventajas significativas. A continuación se detallan cada una de ellas.

Inteligencia artificial general

Una de las principales ventajas es que CABEN puede resolver diversos problemas acercándose a la inteligencia artificial fuerte o general. Logrando consigo, el poder resolver diferentes situaciones que se le presenten, de acuerdo a las experiencias que CABEN posea. Además al ser una arquitectura neurocognitiva, es decir, basándose en estudios de neurociencias, ofrece una mejor alternativa para resolver los problemas tomando al cerebro humano como referencia.

Facilidad de uso

CABEN al ser pensado para un paradigma de programación declarativo, simplifica la manera en resolver un problema, describiendo el qué y no el cómo. Para la programación de un agente que implemente CABEN, únicamente se pensará en describir las percepciones de CABEN, las intenciones, y las acciones que puede realizar en los

escenarios. Más aún, se podría automatizar esta última parte.

Trabajo Distributivo y Paralelismo

Claspar [46] es una implementación de Answer Set Programming para actuar de manera paralela, sin embargo su eficiencia se decrementa al aumentar los pasos de mensajes. En este caso la implementación de CABEN se puede separar a través de los diversos módulos. Repartiendo la carga de trabajo de manera distributiva. De igual manera las experiencias no necesariamente requieren estar almacenadas juntas, pueden estar en diversas máquinas, de tal manera que cuando se active una búsqueda de experiencias se realice de manera paralela.

Uso de diferentes enfoques

Otra de las ventajas de dividir el funcionamiento de CABEN en sus diferentes módulos, es que cada módulo se vuelve de alguna manera independiente y cada módulo puede implementar diferentes enfoques dentro de Answer Set Programming.

3.6.3. Limitantes

Son innumerables la cantidad de limitantes que pudieran existir conforme lo que se espera lograr dentro de la inteligencia artificial general. Sin embargo aquí se enumeran las pertinentes de acuerdo al contexto de CABEN.

Formar experiencias por asociación de percepciones

CABEN no ofrece una manera de asociar una percepción previa con una actual, como es reflejo condicional de Pavlov [78].

Descubrir falla en predicción

CABEN aún no cuenta con un sistema el cual determine el por qué una predicción sobre una acción falló. Por ejemplo, si quisiera encender la luz con un interruptor, una experiencia la cual ha tenido varias veces y siempre ha funcionado, y ésta no enciende. CABEN no puede explicar el porqué la luz no enciende, que puede ser causado desde una falla en el interruptor, ausencia de energía eléctrica o se requiera

reemplazar el foco.

Limitaciones al lenguaje

Ningún lenguaje puede expresar todo el conocimiento sobre el entorno. Por lo tanto CABEN mediante sus percepciones es tan sólo una aproximación de manera significativa.

Interacción

CABEN aún no cuenta con un método de interacción con otro agente de manera específica.

Capítulo 4

Toma de Decisiones basada en Planes, Experiencia y Emoción

Esta sección presenta una solución en la toma de decisiones sobre las acciones a realizarse para llegar a una meta utilizando un híbrido entre la planificación clásica y planificación reactiva, tomando las ventajas de cada enfoque y usando de referencia algunos conceptos de neurociencias. En este capítulo se presenta el funcionamiento en general. En el próximo capítulo se ilustrará con el caso de estudio como ejemplo.

4.1. Híbrido de Planificación Clásica y Reactiva

En esta propuesta se realiza un híbrido de la planificación clásica utilizando el enfoque de Answer Set Programming y la planificación reactiva utilizando el enfoque de Action Selection para un problema de planificación en general. Como se observó previamente en el capítulo dos, ambos enfoques de planificación presentan ventajas y desventajas, así nuestra propuesta toma lo mejor de cada enfoque, con el propósito de mejorar la toma de decisiones en la selección de acciones para llegar a una meta, utilizando la teoría del refuerzo empleada en la neurociencia. Además se puede modelar diferentes comportamientos de acuerdo al tipo de emoción que al agente presente, agregando una variable del marcador somático.

4.1.1. Enfoque Clásico

El enfoque clásico se realiza encontrando todos los posibles planes que no tengan estados repetidos. Para ello se definirán algunos conceptos.

Sea S el conjunto de estados posibles dentro del problema de planificación.

Cada estado $s_1, s_2, \dots, s_n \in S$ es un conjunto de fluentes.

Sea G el estado final o meta.

Un plan $P(s_i)$ es una secuencia de acciones a_1, a_2, a_n que nos llevan de un estado s_i al estado final G .

Un plan sin ciclos en su transición es aquel que no permite estados repetidos.

Sea $PL(s_i)$ el conjunto de planes $P(s_i)$ sin ciclos que van al estado final G .

$PL(s_i)$ puede ser encontrado mediante cualquier resolovedor de Answer Set Programming.

El conjunto de planes $PL(s_i)$ puede ser representado de manera gráfica como un mapa de planes. Un mapa de planes puede verse como un subconjunto del sistema de transición, donde cada arista corresponde a una acción y cada nodo corresponde a un estado. Sin embargo, los estados y las acciones que se presenten serán consideradas si pertenecen a $PL(s_i)$.

4.1.2. Enfoque Reactivo

Para el enfoque reactivo se tomarán en cuenta dos tipos de factores exógenos que pueden impedir al agente llegar a la meta mediante un plan.

El primer tipo de factor exógeno es el que corresponde a un *cambio de estado* sin la acción del agente. Es decir, se realizó una transición de un estado contemplado en el plan a otro estado, la cual pudo ser realizada por otro agente o por un cambio en el entorno. Por ejemplo, si un agente abre la puerta, y después la percibe cerrada por la fuerza del aire, así el estado del agente de tener la puerta abierta pasó a tener la puerta cerrada por el factor exógeno, el cual es el aire.

El segundo tipo de factor exógeno es el que corresponde al *impedimento de una acción*, no por que no cumpla las precondiciones previamente establecidas, sino por algo fuera del control del agente. Por ejemplo, si un agente trata de cruzar un puente, pero al llegar a extremo se percató que se cayó, entonces el agente no podrá ejecutar la acción de cruzar el puente debido a factores externos y no por las habilidades del agente.

El enfoque reactivo utiliza la selección de acciones en términos de los planes $PL(s_i)$ encontrados del enfoque clásico. Para ello se le asignará dos valores a cada plan.

El primer valor es el *Costo*. El costo estará determinado para el problema en particular, el cual puede ser determinado por el tiempo que tardaría el agente para llegar a la meta, o también puede ser mediante el número de acciones que se realizarían.

El segundo valor es el *Riesgo*. El riesgo estará determinado por la razón de los casos en que el plan falló entre las veces que se intentó la ejecución del plan anteriormente por 100. Este valor será mejorado a través de la experiencia. Conforme mayor cantidad de ejecuciones tengan los planes, mejor será el cálculo de riesgo entre planes. Si el plan no ha sido ejecutado anteriormente, no se presenta ningún valor ya que está indefinido.

El *plan preferido* ideal será el que tenga menor costo así como menor valor de riesgo. Sin embargo, se puede configurar y adaptar usando la variable del marcador somático para que a veces el agente prefiera las decisiones con menor riesgo sobre el costo, y viceversa.

De primera instancia la selección de acciones se realizará en base al estado actual s_i eligiendo la acción del plan preferido como primera opción, denotado como $PP(s_i) \in PL(s_i)$. Sin embargo, también se tendrá una lista de planes alternativos $\cup PA(s_i) \in PL(s_i)$ en caso de que el plan elegido falle por un factor exógeno.

Un plan $P(s_i)$ continuará en la lista de planes alternativos $\cup PA(s_i) \in PL(s_i)$ si la acción ejecutada $a_i \in P(s_i)$.

Si el plan falló por un factor exógeno que impide la ejecución de una acción, entonces se actualizará el valor de riesgo del plan preferido y se escogerá un plan entre los planes alternativos. Sin embargo, para la próxima ejecución volverán a ser contemplados todos los planes, y no sólo los alternativos.

Si el plan falló por un factor exógeno que cambió el estado, se actualizará el valor de riesgo en base si fue un retroceso o avance en el alcance del plan. Y la selección de acciones se realizará en base al estado actual s_i eligiendo la acción del plan preferido como primera opción, agregando la lista de planes alternativos.

4.1.3. Aprendizaje utilizando Experiencia

El aprendizaje se realizará conforme la ejecución de diferentes planes y el caso de éxito o fracaso, tomando de referencia la teoría del refuerzo. En este sentido, entre mayor sea la cantidad de fracasos que tenga un plan, mayor será el valor de riesgo asignado, que a la vez puede verse como castigo. Por lo que se aprenderá a evitar los planes que tengan un alto índice de fracaso a través de la experiencia.

4.1.4. Variable del Marcador Somático

La variable del marcador somático tiene como función poder hacer una ponderación entre costo y riesgo mediante la emoción actual.

En [98] se muestra que la toma de decisiones basadas en riesgo se realiza principalmente por la emoción en vez de la razón. Por ello, se le agrega al agente una variable de emoción que corresponde a la hipótesis del marcador somático para decidir entre el costo de un plan y el riesgo. En este sentido se puede ver el costo de un plan como el beneficio del plan o ganancia en términos de ahorro. Así si la variable denota el valor de estado actual del agente con miedo se preferirán los planes con menor índice de fracaso sobre el costo. Por el contrario si se encuentra en un estado actual de osadía se preferirá reducir el costo sobre el riesgo.

La variable del marcador somático es el límite de riesgo que se puede considerar para la ejecución de un plan y se denota como: \mathcal{L} , donde $0 \leq \mathcal{L} \leq 100$.

Por ejemplo, si \mathcal{L} tiene el valor 25, quiere decir que no se aceptan planes o acciones donde el riesgo sea mayor a 25. Obteniendo como consecuencia la elección de un plan más seguro sobre el costo. Si por el contrario \mathcal{L} tiene el valor 80, quiere decir que se aceptarán planes donde el riesgo sea menor o igual a 80. Así un plan con alto riesgo y bajo costo puede ser elegido.

\mathcal{L} es una variable dinámica y su valor puede depender de los resultados anteriores. Es decir, que puede que el límite de tolerancia al riesgo disminuya si se ve a través de una serie de resultados desfavorables, sin embargo el límite de tolerancia al riesgo puede aumentar si se encuentra en una emoción entusiasta.

Como se puede observar esta variable modela de alguna forma el comportamiento de la hipótesis del marcador somático en el ser humano.

4.2. CABEN basada en Planes

CABEN puede ser utilizado bajo el esquema de toma de decisiones basado en planes revisado en este capítulo.

Los distintos módulos de CABEN pueden ser integrados de la siguiente manera:

Módulo de Percepción

Dentro de este módulo, las percepciones pueden ser mapeadas en fuentes, ya que el conjunto de fuentes pueden describir el estado actual en un tiempo T .

Módulo de Intención

En este módulo se pueden encontrar las metas u objetivos del agente en el enfoque de planificación

Módulo de Atención

Las fuentes adquiridas en el módulo de percepción pueden ser ignoradas si no son necesarias para lograr el objetivo que se encuentra en el módulo de intención. Es

decir, las fuentes que deben ser ignoradas, serán aquellas que no se encuentren en la descripción del estado meta.

Módulo de Consciencia

Bajo el estado actual obtenido por el módulo de percepción y reducido en el módulo de atención, puede brindar la posición actual en el mapa de planes, es decir, en el nodo en el cual se encuentra.

Módulo de Experiencia

Aquí se encuentra el mapa de planes con las ponderaciones de riesgo que se han adquirido a través de la experiencia.

Módulo de Predicción

Las predicciones de percepción pueden ser usadas ocupando el principio de la inercia en planificación clásica [49]. Esto es, que si no se realizó una percepción del valor de una fuente, se asumirá que seguirá conservando su mismo valor. Debido a que en este esquema pueden darse situaciones exógenas, entonces esto es una predicción de ello, ya que no es explícito. Por el otro lado las predicciones sobre resultados se puede hacer mediante un análisis de probabilidad de éxito o fracaso ocupando la experiencia anterior.

Módulo de asociación y evaluación

Este módulo quedaría utilizado solo para realizar la toma de decisiones. Esta dependerá del valor del marcador somático actual, en caso que se prefiera tomar una acción segura sobre el costo, o viceversa.

Módulo de Acción

Por último este módulo corresponde a la elección sobre qué acción se decidió realizar.

En general, se puede concluir que CABEN puede ser implementado ocupando el esquema de toma de decisiones basada en planes, experiencia y emoción.

Capítulo 5

Caso de Estudio: Gestión de Flotas de Vehículos

Este capítulo muestra la aplicación de la toma de decisiones basada en planes, experiencia y emoción en un problema de logística. En la primera sección se describe el problema planteando el escenario a ocupar en el modelado del agente. Después en la segunda sección se muestra una propuesta de solución usando nuestro enfoque. Posteriormente se realiza un análisis de la solución presentada.

5.1. Descripción del Problema

Gestión de Flotas de Vehículos

El problema del trazado de rutas de flotas de vehículos con determinada capacidad (Capacited Vehicle Routing Problem en inglés), mencionado en el capítulo dos, puede plantearse a un nivel operacional, debido a que la toma de decisiones se realiza a diario. El trazado de rutas dependerá de las entregas que se tengan durante el día. Este trazado puede realizarse desde un enfoque de planificación tradicional. Si bien, la planificación tradicional se realiza desde un entorno fijo. Sin embargo, pueden existir diversos factores externos que modifican el escenario, como son: tráfico, bloqueo de calles, entre otros. Se les considera factores externos ya que no están dentro del control tanto del que realiza el trazado de rutas como el que opera. Con la incorpora-

ción de factores externos el enfoque de planificación tradicional no es tan óptimo para el trazado de rutas. Por el contrario, dado que es un problema a nivel operacional se puede beneficiar del aprendizaje diario y la experiencia. Esta experiencia puede ser adquirida tanto por los operadores, que posteriormente se la pueden comunicar al encargado de realizar el trazado de rutas. Por eso, nuestra propuesta puede ser una buena solución a este tipo de problemas. Dado que incorpora la planificación clásica (el trazado de las rutas), como la planificación reactiva (la toma de decisiones ante situaciones no previstas).

La instancia que se va a usar de este problema corresponde a la distribución de paquetes en una zona geográfica representada mediante la figura 5.1 , donde los nodos corresponden a las distintas localidades y las aristas las respectivas carreteras o autopistas que conectan cada lugar. El valor de las aristas corresponden al costo en términos de tiempo que toma trasladarse de una localidad a otra.

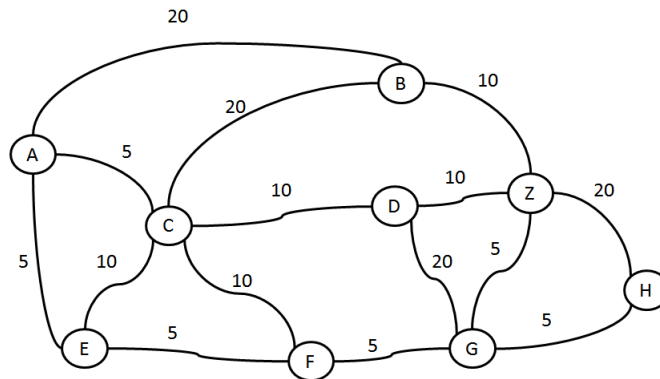


Figura 5.1: Mapa de las distintas localidades

El problema consiste en suministrar diariamente a la localidad *Z* desde el almacén ubicado en la localidad *A* usando únicamente un operador con un vehículo asignado. El operador es un nuevo empleado, por lo cual inicia sin experiencia.

A continuación se describen cinco escenarios que corresponden a los días laborales de la semana. Cada escenario presenta los factores exógenos que no pueden ser previstos. En este caso se ocuparán bloqueo de carreteras por reparaciones y bloqueo de carreteras por accidentes automovilísticos.

Lunes: En este día no se presenta ningún inconveniente.

Martes: Después de un día tranquilo, este día presenta un accidente automovilístico provocando el bloqueo en la carretera de la localidad G a la localidad Z .

Miércoles: En este día se vuelve a encontrar un accidente en la carretera de la localidad G a la localidad Z .

Jueves: Este día no presenta ningún accidente y todas las carreteras se encuentran libres para transitar.

Viernes: En este día se inician las reparaciones de la carretera de las localidades A y C en ambas direcciones, recomendando usar vías alternas.

5.2. Solución usando la Toma de Decisiones basada en Planes

Para solucionar este problema usando la toma de decisiones basada en planes, primero se tienen que encontrar los planes utilizando el enfoque de planificación clásica, en particular se usará Answer Set Planning [69]. Posteriormente se describir las decisiones que se realizan para cada uno de los días de la semana con el enfoque reactivo de planificación.

5.2.1. Enfoque Clásico

Este problema de planificación puede ser descrito con cualquier Action Language [50]. Sin embargo; se usará el lenguaje \mathcal{A} descrito en el capítulo dos. Cabe mencionar que se usará el idioma inglés para la descripción del modelo y el programa de Answer Set Planning por convención.

El conocimiento previo de las distintas localidades puede ser descrito como los siguientes hechos.

location(a).
location(b).
location(c).
location(d).
location(e).
location(f).
location(g).
location(h).
location(z).

Las fuentes que se van a manejar son tres. La primera es para la ubicación del agente en una localidad. La segunda es para declarar que localidad ya fue visitada con el propósito de evitar ciclos en el diagrama de transición. La tercera es simplemente para marcar la unión de las localidades a través de las carreteras. Cada fuente requiere de una localidad, por lo que deben de ser fuentes compuestas como a continuación se describe:

fluent(at(X)) \leftarrow location(X).
fluent(visited(X)) \leftarrow location(X).
fluent(edge(X,Y)) \leftarrow location(X) \wedge location(Y).

Para el caso de el conjunto de acciones, únicamente se va a contar con una acción, la cual es la de trasladarse de un lugar a otro. Esta puede ser descrita así:

action(move(X,Y)) \leftarrow location(X) \wedge location(Y).

Teniendo declaradas los conjuntos de acciones y fuentes. Se describe cada uno de los sublenguajes del lenguaje \mathcal{A} .

Lenguaje de Descripción del Dominio.

Para este problema se tienen tres proposiciones de efecto sobre la única acción que es el traslado de una localidad a otra. La primera y segunda corresponden a la actualización del estado actual del agente. Es decir, que si el agente se traslada

hacia otra localidad, deja de estar allí y se encuentra en la nueva posición. La tercera proposición de efecto es aquella que señala que después de trasladarse hacia la nueva localidad, la marca como visitada para así no regresar a ella. A continuación son descritas cada una de ellas:

```
move(X,Y) causes at(Y) if location(X) ∧ location(Y).
move(X,Y) causes ¬at(X) if location(X) ∧ location(Y).
move(X,Y) causes visited(Y) if location(X) ∧ location(Y).
```

Las condiciones de ejecución se plantearan como restricciones ya que es más sencillo de modelar. Es decir, se declaran cuando no puede ser ejecutada una acción. La primera corresponde a que el agente no puede trasladarse de una localidad a otra si no existe una carretera que las una. La segunda es aquella donde el agente debe de estar ubicado en dicha localidad. La tercera es que no puede ir a una localidad que ya haya visitado anteriormente. A continuación son descritas cada una de ellas:

```
not executable move(X,Y) if ¬ at(X).
not executable move(X,Y) if ¬ edge(X,Y).
not executable move(X,Y) if visited(Y).
```

Lenguaje de Observación.

Aquí se describe el estado inicial para cada fuente. Para este problema en particular se inicia en la localidad A , por lo tanto es evidente señalar la localidad A como visitada.

```
initially at(a).
initially visited(a).
```

Además se describen cada uno de los arcos que corresponde a las carreteras de la zona geográfica. El costo de tiempo es ignorado para la obtención de los planes. Sin embargo, posteriormente se marcará el costo de tiempo para cada plan.

```
initially edge(a,b).
initially edge(b,a).
```

initially edge(a,c).
initially edge(c,a).
initially edge(a,e).
initially edge(e,a).
initially edge(b,c).
initially edge(c,b).
initially edge(b,z).
initially edge(z,b).
initially edge(c,e).
initially edge(e,c).
initially edge(c,f).
initially edge(f,c).
initially edge(c,d).
initially edge(d,c).
initially edge(d,g).
initially edge(g,d).
initially edge(d,z).
initially edge(z,d).
initially edge(e,f).
initially edge(f,e).
initially edge(f,g).
initially edge(g,f).
initially edge(g,h).
initially edge(h,g).
initially edge(g,z).
initially edge(z,g).
initially edge(h,z).
initially edge(z,h).

Lenguaje de Consulta.

El estado al que se quiere llegar después de la ejecución de los planes, es decir, la secuencia de acciones, es que el agente se encuentre en la localidad *Z*. Así, lo que

queremos que se cumpla es:

finally at(z).

Teniendo descrito el problema en un lenguaje de acciones es sencillo traducirlo a Answer Set Planning. En el apéndice A se muestra el código para este ejemplo usando la sintaxis de Lparse [96] y el resolutor Smodels [90]. Sin embargo, puede usarse otro indistintamente. Ya que el resolutor Smodels no cuenta con una interfaz para resolver problemas de planificación, se hace uso de algunas reglas que permiten llevar a cabo la planificación. Este código está basado en [10] donde se podrá encontrar más información al respecto. Al ejecutar el programa, se obtienen 35 modelos, que corresponden a los planes. En el apéndice B se puede observar el resultado obtenido. De esta forma, se puede construir un diagrama de transición utilizando los planes anteriores. Cabe mencionar que en los planes no se permiten ciclos.

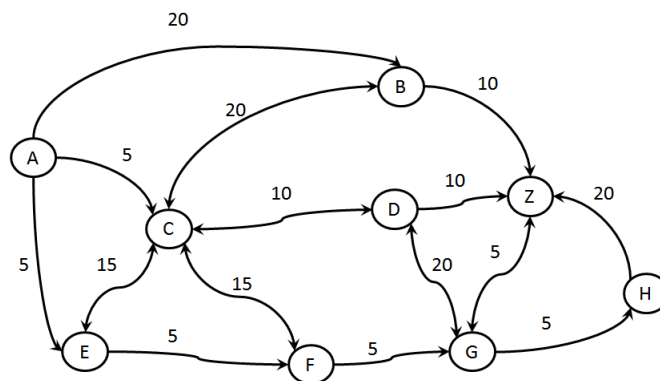


Figura 5.2: Mapa de las distintas localidades

5.2.2. Enfoque Reactivo

Con los planes previamente calculados se construirá una tabla donde se asignan los valores a cada plan, tanto para el costo como el riesgo. Para simplificar los datos de la tabla se denotará a la acción de moverse de la localidad X a la localidad Y como $X - Y$. En este caso como el problema inicia sin ninguna experiencia el riesgo es indefinido. Sin embargo, este valor se va a ir actualizando conforme la

adquisición de experiencia. Cabe mencionar que la variable del marcador somático es 60 y permanece constante para los 5 días.

Número de plan	Plan	Costo	Valor de Riesgo
1	A-B, B-Z	30	-
2	A-B, B-C, C-D, D-Z	60	-
3	A-B, B-C, C-E, E-F, F-G, G-D, D-Z	95	-
4	A-B, B-C, C-E, E-F, F-G, G-Z	70	-
5	A-B, B-C, C-E, E-F, F-G, G-H, H-Z	90	-
6	A-B, B-C, C-F, F-G, G-D, D-Z	90	-
7	A-B, B-C, C-F, F-G, G-Z	65	-
8	A-B, B-C, C-F, F-G, G-H, H-Z	85	-
9	A-B, B-C, C-D, D-G, G-Z	75	-
10	A-B, B-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	95	-
11	A-E, E-F, F-C, C-B, B-Z	55	-
12	A-E, E-F, F-C, C-D, D-Z	45	-
13	A-E, E-F, F-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	80	-
14	A-E, E-F, F-C, C-D, D-G, G-Z	60	-
15	A-E, E-F, F-G, G-D, D-C, C-B, B-Z	75	-
16	A-E, E-F, F-G, G-D, D-Z	45	-
17	A-E, E-F, F-G, G-Z	20	-
18	A-E, E-F, F-G, G-H, H-Z	40	-
19	A-E, E-C, C-B, B-Z	50	-
20	A-E, E-C, C-F, F-G, G-D, D-Z	70	-
21	A-E, E-C, C-F, F-G, G-Z	45	-
22	A-E, E-C, C-F, F-G, G-H, H-Z	65	-
23	A-E, E-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	75	-
24	A-E, E-C, C-D, D-Z	40	-
25	A-E, E-C, C-D, D-G, G-Z	55	-
26	A-C, C-B, B-Z	35	-
27	A-C, C-E, E-F, F-G, G-D, D-Z	60	-
28	A-C, C-E, E-F, F-G, G-Z	35	-
29	A-C, C-E, E-F, F-G, G-H, H-Z	55	-
30	A-C, C-F, F-G, G-D, D-Z	55	-
31	A-C, C-F, F-G, G-H, H-Z	50	-
32	A-C, C-F, F-G, G-Z	30	-
33	A-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	60	-
34	A-C, C-D, D-Z	25	-
35	A-C, C-D, D-G, G-Z	40	-

Los símbolos (Figura 4.3) indican que un factor exógeno impide la acción de trasladarse de una localidad a otra. El rayo indica que hubo un accidente, mientras que el símbolo de prohibido indica que la carretera se encuentra en reparación.



Figura 5.3: Representación de los factores exógenos

A continuación se muestra cómo sería la selección de acciones para cada día de la semana, así como el manejo de los eventos exógenos que se plantean en la descripción del problema.

Lunes

Debido a que no se tiene el valor de riesgo asignado para ningún plan, la selección de este se hará en base al menor costo.

Utilizando la tabla anterior, es fácil observar que el plan preferido será el plan número 17.

Dado que este día no se presenta ningún factor exógeno, el diagrama de transiciones permanece igual.

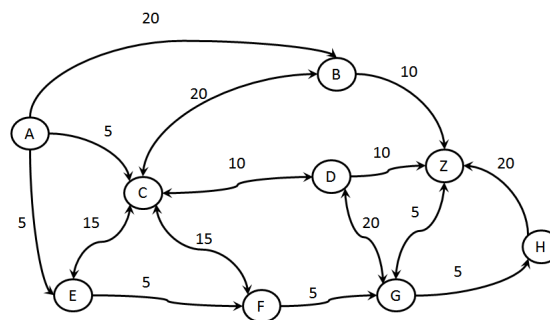


Figura 5.4: Representación del día Lunes

La ejecución del plan no se interrumpe y se llega a la meta asignando un valor de riesgo de 0. Ya que la razón de las veces que ha fallado ese plan entre las ejecuciones realizadas es $(0/1) * 100 = 0$.

El tiempo total de entrega del paquete es de 20 minutos.

Martes

Se utiliza el plan del día anterior como preferido, ya que es el que menor costo tiene, además de contar con un factor de riesgo 0. Sin embargo, durante la ejecución del plan se enfrenta el factor exógeno que impide al agente ir de la localidad G a la localidad Z . Por lo tanto, se actualizará el factor de riesgo del plan preferido con valor 50.

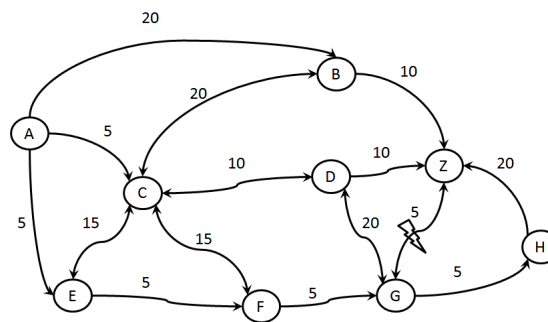


Figura 5.5: Representación del día Martes

En ese momento el agente se encuentra en la localidad G y se tienen dos planes alternativos en la lista. Estos son: $G-D, D-Z$ con un costo de 30 y el plan $G-H, H-Z$ con un costo de 25. Ambos planes alternativos no tienen valor de riesgo asignado por lo que se prefiere el plan : $G-H, H-Z$ por tener el menor costo.

Dado que no se presenta ningún factor exógeno para el plan preferido, el agente llega a la meta satisfactoriamente.

El agente realiza la entrega del paquete en un tiempo total de 40 minutos.

Miércoles

El plan preferido del día anterior tiene el menor costo, siendo de 20 minutos. Sin embargo, también tiene un valor de riesgo de 50 , el cual no puede ser ignorado. Ya que posee un nivel intermedio de riesgo, se puede considerar la toma de decisiones sobre planes seguros sobre el costo, o bien, se puede elegir el menor costo sobre un riesgo. Considerando la variable de la hipótesis del marcador somático con un valor de 60, se elige arriesgarse en esta ocasión y elegir el mismo plan. Es decir, el plan

número 5.

Sin embargo, durante la ejecución del plan se enfrenta el factor exógeno que impide al agente ir de la localidad G a la localidad Z por segunda ocasión.

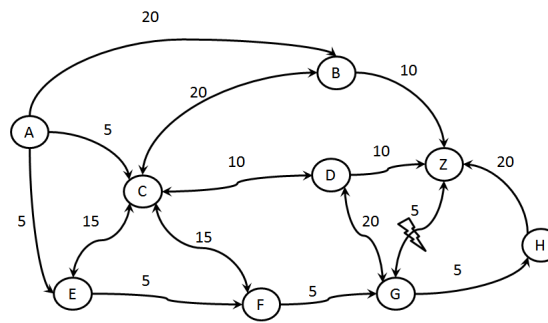


Figura 5.6: Representación del día Miércoles

Por lo tanto, se actualizará el factor de riesgo del plan preferido con valor 66. Este valor ya se encuentra sobre el rango alto de riesgo en comparación a la variable del marcador somático con valor de 60.

Nuevamente se tienen dos planes alternativos en la lista. Estos son: G-D, D-Z con un costo de 30 y el plan G-H, H-Z con un costo de 25. Ambos planes alternativos no tienen valor de riesgo asignado por lo que se prefiere el plan : G-H, H-Z por tener el menor costo.

Dado que no se presenta ningún factor exógeno para el plan preferido, el agente llega a la meta satisfactoriamente.

El agente realiza la entrega del paquete en un tiempo total de 40 minutos.

Jueves

Esta ocasión se elige el plan 34 como preferido, ya que es el plan de menor costo sin un riesgo alto de acuerdo a la variable del marcador somático. Dado que este día no se presenta ningún factor exógeno, el diagrama de transiciones es igual al del día Lunes.

La ejecución del plan no se interrumpe y se llega a la meta asignando un valor de riesgo de 0 al plan preferido.

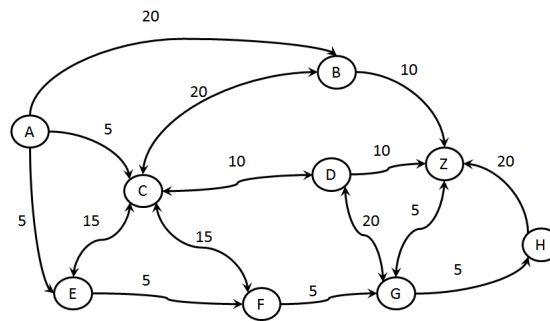


Figura 5.7: Representación del día Jueves

El tiempo total de entrega del paquete es de 25 minutos.

Viernes

Este día presenta el bloqueo de la carretera de la localidad A a la localidad Z por reparaciones. El plan preferido inicial es el 34, pero debido al factor exógeno se elige entre los planes alternativos, el cual es el 1. El plan número 34 se actualiza asignando el valor 50 al riesgo. El plan 1 se prefiere ya que se puede ejecutar y no tiene un riesgo definido.

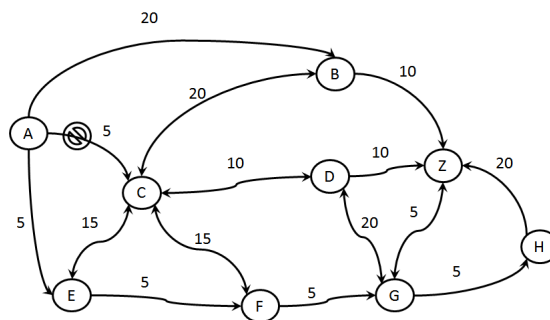


Figura 5.8: Representación del día Viernes

Dado que no se presenta ningún factor exógeno para el nuevo plan preferido, el agente llega a la meta satisfactoriamente.

El agente realiza la entrega del paquete en un tiempo total de 30 minutos.

Al finalizar el quinto día, los valores de riesgo para cada plan quedan establecidos

como se muestra en la siguiente tabla.

Número de plan	Plan	Costo	Valor de Riesgo
1	A-B, B-Z	30	0
2	A-B, B-C, C-D, D-Z	60	-
3	A-B, B-C, C-E, E-F, F-G, G-D, D-Z	95	-
4	A-B, B-C, C-E, E-F, F-G, G-Z	70	-
5	A-B, B-C, C-E, E-F, F-G, G-H, H-Z	90	-
6	A-B, B-C, C-F, F-G, G-D, D-Z	90	-
7	A-B, B-C, C-F, F-G, G-Z	65	-
8	A-B, B-C, C-F, F-G, G-H, H-Z	85	-
9	A-B, B-C, C-D, D-G, G-Z	75	-
10	A-B, B-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	95	-
11	A-E, E-F, F-C, C-B, B-Z	55	-
12	A-E, E-F, F-C, C-D, D-Z	45	-
13	A-E, E-F, F-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	80	-
14	A-E, E-F, F-C, C-D, D-G, G-Z	60	-
15	A-E, E-F, F-G, G-D, D-C, C-B, B-Z	75	-
16	A-E, E-F, F-G, G-D, D-Z	45	-
17	A-E, E-F, F-G, G-Z	20	66
18	A-E, E-F, F-G, G-H, H-Z	40	-
19	A-E, E-C, C-B, B-Z	50	-
20	A-E, E-C, C-F, F-G, G-D, D-Z	70	-
21	A-E, E-C, C-F, F-G, G-Z	45	-
22	A-E, E-C, C-F, F-G, G-H, H-Z	65	-
23	A-E, E-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	75	-
24	A-E, E-C, C-D, D-Z	40	-
25	A-E, E-C, C-D, D-G, G-Z	55	-
26	A-C, C-B, B-Z	35	-
27	A-C, C-E, E-F, F-G, G-D, D-Z	60	-
28	A-C, C-E, E-F, F-G, G-Z	35	-
29	A-C, C-E, E-F, F-G, G-H, H-Z	55	-
30	A-C, C-F, F-G, G-D, D-Z	55	-
31	A-C, C-F, F-G, G-H, H-Z	50	-
32	A-C, C-F, F-G, G-Z	30	-
33	A-C, C-D, D-G, G-H, H-Z	60	-
34	A-C, C-D, D-Z	25	50
35	A-C, C-D, D-G, G-Z	40	-

5.3. Análisis de la Solución

Utilizando los planes previamente obtenidos por la planificación clásica se puede observar que cuando se presenta un elemento exógeno que impide la ejecución de una acción, se puede elegir la mejor opción alternativa como se pudo notar en el día Martes sin necesidad de replanificación.

El día Miércoles se tiene un factor de riesgo de 50 al plan de menor costo, por lo que la variable del marcador somático determina el rango el cual es posible ejecutar un plan a pesar del riesgo. Para el día Miércoles se “arriesgó” a tomar el plan de bajo costo debido a que la variable del marcador somático era superior.

El día Jueves se muestra el caso el cual ya no es viable arriesgarse a tomar el plan de menor costo por la experiencia adquirida, a pesar de que en ese día no sucedió ningún acontecimiento.

El día Viernes es un ejemplo donde se tienen planes que no se pueden ejecutar debido al impedimento una acción. Sin embargo, con los planes alternativos es fácil para el agente determinar que acciones ejecutar sin incrementar el costo de manera elevada.

Se puede notar que cuando se presentan eventos exógenos se elevan los costos sobre la ejecución de otros planes, como el día de entrega de los días Martes y Miércoles en comparación del día Jueves o Viernes. Sin embargo, se adquiere experiencia que puede ayudar a modelar patrones y poder predecir escenarios futuros a través del riesgo. En este sentido se puede decir que se aprende más de las experiencias negativas.

Es claro observar que el comportamiento del agente dependerá no sólo de los planes calculados en la planificación clásica y la experiencia, si no también de la variable del marcador somático. En general se puede concluir que la toma de decisiones ofrece una buena solución a problemas donde se tenga que realizar una misma tarea repetidamente con diferentes opciones.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo se mostró CABEN como una arquitectura general que puede ser utilizada para diversos problemas. CABEN incorpora varios elementos de la neurociencia con el propósito de acercarse a la mente humana.

Además, se mostró una posible implementación de CABEN utilizando un híbrido de planificación clásica y planificación reactiva. Este híbrido incorpora a su vez dos conceptos de la neurociencia en sí: la variable del marcador somático y la experiencia sobre el refuerzo.

La hipótesis del marcador somático puede ser vista como una heurística sobre la elección de una decisión.

Basándonos en los resultados del caso de estudio, se puede adaptar y configurar la toma de decisiones basada en planes, riesgo y emoción de acuerdo al problema, a través de estos últimos elementos. Por ejemplo, el costo puede representar la cantidad de acciones a ejecutarse, el riesgo podría adaptarse a una probabilidad de fracaso a nivel matemático, y la variable del marcador somático puede ser estática como en el caso de estudio o dinámica, donde la obtención de este valor sea a través de las experiencias anteriores. Además este valor puede ser asignado si se tienen distintos valores de fracaso o castigo. Por ejemplo, hacer la distinción de perder una suma pequeña de dinero a perder una gran cantidad de dinero.

6.1. Trabajo Futuro

La toma de decisiones basada en planes, riesgo y emoción se puede extender a más valores, así como considerar más factores exógenos que pueden ocurrir, como puede ser el cambio de los costos.

Otra cuestión a considerar es la mejora del cálculo de riesgo con el uso de estrategias de probabilidad y estadística.

También se puede mejorar la representación de planes, de tal manera que cuando se llegue a un estado no ubicado en el diagrama de planes, se haga una replanificación hacia un estado del diagrama, en vez del estado final.

Se puede optimizar además la selección de acciones agregando más valores. Además se podrían considerar factores exógenos que ayuden y otros que perjudiquen la ejecución de un plan, que pudiera ser a través de otros agentes.

Como trabajo futuro se considera también la implementación de CABEN, así como la implementación del híbrido de planificación.

Una de las opciones viables para la implementación del híbrido de planificación es a través del lenguaje DALI [28], ya que cuenta con una parte proactiva y una reactiva para la programación de agentes.

Apéndice A

Código

```
const length=9.
```

```
steps(1..length).
```

```
location(a).
```

```
location(b).
```

```
location(c).
```

```
location(d).
```

```
location(e).
```

```
location(f).
```

```
location(g).
```

```
location(h).
```

```
location(z).
```

```
initially(edge(a,b)).
```

```
initially(edge(b,a)).
```

```
initially(edge(a,c)).
```

```
initially(edge(c,a)).
```

```
initially(edge(a,e)).
```

```
initially(edge(e,a)).
initially(edge(b,c)).
initially(edge(c,b)).
initially(edge(b,z)).
initially(edge(z,b)).
initially(edge(c,e)).
initially(edge(e,c)).
initially(edge(c,f)).
initially(edge(f,c)).
initially(edge(c,d)).
initially(edge(d,c)).
initially(edge(d,g)).
initially(edge(g,d)).
initially(edge(d,z)).
initially(edge(z,d)).
initially(edge(e,f)).
initially(edge(f,e)).
initially(edge(f,g)).
initially(edge(g,f)).
initially(edge(g,h)).
initially(edge(h,g)).
initially(edge(g,z)).
initially(edge(z,g)).
initially(edge(h,z)).
initially(edge(z,h)).

initially(at(a)).
initially(visited(a)).
finally(at(z)).
```

```
not_goal(S):- steps(S),
    literal(X),
    finally(X),
    not holds(X,S).

goal(S) :- steps(S),
    not not_goal(S).

exists_plan :-
    goal(length).

:- not exists_plan.

%Defining what are fluents and
%what are actions.

fluent(at(X)) :-
    location(X).

fluent(edge(X,Y)) :-
    location(X),
    location(Y).

fluent(visited(X)) :-
    location(X).

action(move(X,Y)) :-
    location(X),
    location(Y).

%Effects of actions and executability conditions.
```

```
impossible_if(move(L,LL), neg(at(L))) :-  
    location(L),  
    location(LL).
```

```
impossible_if(move(L1,L2), neg(edge(L1,L2))) :-  
    location(L1),  
    location(L2).
```

```
impossible_if(move(L1,L2), visited(L2)):-  
location(L1),  
location(L2).
```

```
causes(move(L,LL), at(LL)) :-  
    location(L),  
    location(LL).
```

```
causes(move(L,LL), neg(at(L))) :-  
    location(L),  
    location(LL).
```

```
causes(move(L,LL), visited(LL)) :-  
location(L),  
    location(LL).
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
literal(G) :-  
    fluent(G).
```

```
literal(neg(G)) :-
```

```
    fluent(G).

contrary(F, neg(F)) :-
    fluent(F).

contrary(neg(F), F) :-
    fluent(F).

%Defining Exececutability

not_executable(A,S)    :-
    action(A),
    steps(S),
    impossible_if(A,B),
    holds(B,S).

executable(A,S)       :-
    action(A),
    steps(S),
    not not_executable(A,S).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

holds(F, 1) :-
    literal(F),
    initially(F).

holds(neg(F), 1)    :-
    fluent(F),
    not holds(F,1).
```

```
holds(F, S+1) :-
    literal(F),
    steps(S),
    S < length,
    action(A),
    executable(A,S),
    occurs(A,S),
    causes(A,F).
```

```
holds(F, S+1) :-
    literal(F),
    literal(G),
    contrary(F,G),
    steps(S),
    S < length,
    holds(F,S),
    not holds(G, S+1).
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
possible(A,S) :-
    action(A),
    executable(A,S),
    steps(S),
    not goal(S).
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
occurs(A,S) :-
```

```
    action(A),
    steps(S),
    possible(A,S),
    not not_occurs(A,S).

not_occurs(A,S) :-
    action(A),
    action(AA),
    steps(S),
    occurs(AA,S),
    neq(A,AA).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

hide steps(S).
hide action(A).
hide causes(A,F).
hide initially(F).
hide contrary(F,G).
hide fluent(F).
hide literal(L).
hide executable(A,S).
hide holds(F,S).
hide not_occurs(A,S).
hide possible(A,S).
hide at(X,Y).
hide exists_plan.
hide finally(X).
hide goal(S).
hide not_goal(S).
```

```
hide impossible_if(X,Y).  
hide location(L).  
hide not_executable(A,S).
```

Apéndice B

Resultado

Answer: 1

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,z),2)

Answer: 2

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,d),3) occurs(move(d,z),4)

Answer: 3

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,e),3) occurs(move(e,f),4) occurs(move(f,g),5)
occurs(move(g,d),6) occurs(move(d,z),7)

Answer: 4

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,e),3) occurs(move(e,f),4) occurs(move(f,g),5)
occurs(move(g,z),6)

Answer: 5

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,e),3) occurs(move(e,f),4) occurs(move(f,g),5)
occurs(move(g,h),6) occurs(move(h,z),7)

Answer: 6

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,d),5)
occurs(move(d,z),6)

Answer: 7

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,z),5)

Answer: 8

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,h),5)
occurs(move(h,z),6)

Answer: 9

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,d),3) occurs(move(d,g),4) occurs(move(g,z),5)

Answer: 10

Stable Model: occurs(move(a,b),1) occurs(move(b,c),2)
occurs(move(c,d),3) occurs(move(d,g),4) occurs(move(g,h),5)
occurs(move(h,z),6)

Answer: 11

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,c),3) occurs(move(c,b),4) occurs(move(b,z),5)

Answer: 12

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,c),3) occurs(move(c,d),4) occurs(move(d,z),5)

Answer: 13

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,c),3) occurs(move(c,d),4) occurs(move(d,g),5)
occurs(move(g,h),6) occurs(move(h,z),7)

Answer: 14

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,c),3) occurs(move(c,d),4) occurs(move(d,g),5)
occurs(move(g,z),6)

Answer: 15

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,d),4) occurs(move(d,c),5)
occurs(move(c,b),6) occurs(move(b,z),7)

Answer: 16

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,d),4) occurs(move(d,z),5)

Answer: 17

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,z),4)

Answer: 18

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,f),2)
occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,h),4) occurs(move(h,z),5)

Answer: 19

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)
occurs(move(c,b),3) occurs(move(b,z),4)

Answer: 20

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)
occurs(move(c,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,d),5)
occurs(move(d,z),6)

Answer: 21

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)
occurs(move(c,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,z),5)

Answer: 22

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)
occurs(move(c,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,h),5)
occurs(move(h,z),6)

Answer: 23

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)
occurs(move(c,d),3) occurs(move(d,g),4) occurs(move(g,h),5)
occurs(move(h,z),6)

Answer: 24

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)
occurs(move(c,d),3) occurs(move(d,z),4)

Answer: 25

Stable Model: occurs(move(a,e),1) occurs(move(e,c),2)

occurs(move(c,d),3) occurs(move(d,g),4) occurs(move(g,z),5)

Answer: 26

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,b),2)

occurs(move(b,z),3)

Answer: 27

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,e),2)

occurs(move(e,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,d),5)

occurs(move(d,z),6)

Answer: 28

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,e),2)

occurs(move(e,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,z),5)

Answer: 29

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,e),2)

occurs(move(e,f),3) occurs(move(f,g),4) occurs(move(g,h),5)

occurs(move(h,z),6)

Answer: 30

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,f),2)

occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,d),4) occurs(move(d,z),5)

Answer: 31

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,f),2)

occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,h),4) occurs(move(h,z),5)

Answer: 32

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,f),2)

occurs(move(f,g),3) occurs(move(g,z),4)

Answer: 33

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,d),2)

occurs(move(d,g),3) occurs(move(g,h),4) occurs(move(h,z),5)

Answer: 34

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,d),2)

occurs(move(d,z),3)

Answer: 35

Stable Model: occurs(move(a,c),1) occurs(move(c,d),2)

occurs(move(d,g),3) occurs(move(g,z),4)

False

Duration 2.417

Number of choice points: 34

Number of wrong choices: 34

Number of atoms: 6560

Number of rules: 67486

Number of picked atoms: 22828

Number of forced atoms: 1645

Number of truth assignments: 1549994

Size of searchspace (removed): 296 (601)

Bibliografía

- [1] James S. Albus. 4d/rcs: A reference model architecture for intelligent unmanned ground vehicles. En *SPIE 16th Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls*. 2002.
- [2] J. J. Alferes, A. Brogi, J. A. Leite, y L. M. Pereira. Logic programming for evolving agents. En *Proceedings of the 7th International Cooperative Information Agents (CIA03), LNAI*, págs. 281–297. SpringerVerlag, 2003.
- [3] John R. Anderson. *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* Oxford University Press, 2007. ISBN: 0195398955.
- [4] John R. Anderson, Daniel Bothell, Michael D. Byrne, Scott Douglass, Christian Lebiere, y Yulin Qin. An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111 (4):1036–1060, 2004.
- [5] Daniel Tranel Antoine Bechara y Hanna Damasio. Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123:2189–2202, 2000.
- [6] Sergio Arzola y Claudia Zepeda. Modeling and encoding automated planning problems with the p-stable semantics. En *Seventh Latin American Workshop on Logic/Languages, Algorithms and New Methods of Reasoning 2011*, págs. 45–56. 2011.
- [7] R.M Atkinson, R.C.; Shiffrin. *Human memory: A proposed system and its control processes*, tomo 2. New York: Academic Press, 1968.

-
- [8] B. Sathish Babu y P. Venkataram. Transaction based authentication scheme for mobile communication: A cognitive agent based approach. En *21st IEEE Intl. Parallel and Distributed Processing Symposium*. 2007.
- [9] Moshe Bar. Visual objects in context. *Nature*, 5:617–629, 2004.
- [10] Chitta Baral. *Knowledge Representation, Reasoning and Declarative Problem Solving*. Cambridge University Press, 2010. ISBN: 0521147751.
- [11] Andrew D. Lawrence Barnaby D. Dunn, Tim Dalgleish. The somatic marker hypothesis: A critical evaluation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30:239271, 2006.
- [12] Gracián Triviño Barros. *Un modelo de Arquitectura Cognitiva. Aplicación en Robótica Móvil*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2000.
- [13] C. Gordon Bell y Allen Newell. *Computer Structures: Readings and Examples*. McGraw-Hill computer science series, 1971. ISBN: 0070043574.
- [14] Elwood Wright Benjamin Libet, Curtis Gleason y Dennis Pearl. Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). *Brain*, 106:623–642, 1983.
- [15] Julien Bramel y David Simchi-Levi. *The Logic of Logistics : Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management (Springer Series in Operations Research)*. Springer, 1999. ISBN: 0387949216.
- [16] Ivan Bratko. *Prolog Programming for Artificial Intelligence*. Pearson, 2006. ISBN: 0201403757.
- [17] Frederick Brooks. *Planning a computer system: Project Stretch*. McGraw-Hill, 1962. ISBN:.
- [18] José Luis Carballido Carranza. *Fundamentos Matemáticos de la semántica P-estable en la programación lógica*. Tesis Doctoral, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2008.

-
- [19] U. Cartwright-Finch y N. Lavie. The role of perceptual load in inattention blindness. *Cognition*, 102(3):321–340, 2006.
- [20] Umberto Castiello. The neuroscience of grasping. *Nature Reviews Neuroscience*, 6:726–736, 2005.
- [21] Christopher Chabris y Daniel Simons. *The Invisible Gorilla: And Other Ways Our Intuitions Deceive Us*. Crown Archetype, 2010. ISBN: 0307459659.
- [22] Koch Christof. *The Quest for Consciousness*. Roberts and Company Publishers, 2010. ISBN: 1936221047.
- [23] Patricia S. Churchland y Terrence J. Sejnowsk. Perspectives on cognitive neuroscience. *Science*, 242:741–745, 1998.
- [24] Philip J. Corr. Reinforcement sensitivity theory and personality. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 28:317332, 2004.
- [25] Philip J. Corr. *The Reinforcement Sensitivity Theory of Personality*. Cambridge University Press, 2008. ISBN: 0521851793.
- [26] Stefania Costantini y Andrea Formisano. Answer set programming with resources. *J. Log. Comput.*, 20(2):533–571, 2010.
- [27] Stefania Costantini y Andrea Formisano. Preferences and priorities in asp. En *CILC*, págs. 47–58. 2012.
- [28] Stefania Costantini y Arianna Tocchio. Planning experiments in the dali logic programming language.
- [29] Roberto Cabeza Scott A. Huettel Kevin S. LaBar Michael L. Platt Dale Purves, Elizabeth M. Brannon y Marty Woldorff. *Principles of Cognitive Neuroscience*. Sinauer Associates Inc, 2007. ISBN: 0878936947.
- [30] Antonio Damasio. *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*. Mariner Books, 2000. ISBN: 0156010755.
- [31] Antonio Damasio. *Descartes Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Penguin Books, 2005. ISBN: 014303622X.

-
- [32] Antonio Damasio y Antoine Bechara. The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52:336–372, 2005.
- [33] Big Think David Eagleman. What went wrong with ai? 2012. URL <http://bigthink.com/ideas/44936>.
- [34] Alan Mackworth David Poole y Randy Goebel. *Computational Intelligence: A Logical Approach*. Oxford University Press, 1998. ISBN: 0195102703.
- [35] Martin Davis y Hilary Putnam. A computing procedure for quantification theory. *J. ACM*, 7(3):201–215, 1960. ISSN 0004-5411. doi:10.1145/321033.321034. URL <http://doi.acm.org/10.1145/321033.321034>.
- [36] Stanislas Dehaene y Lionel Naccache. Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79:1–37, 2001.
- [37] Daniel C. Dennett. *Consciousness Explained*. Back Bay Books, 1992. ISBN: 0316180661.
- [38] Christopher D. Frith Diane M. Beck, Geraint Rees y Nilli Lavie. Neural correlates of change detection and change blindness. *Nature Neuroscience*, 4(6):645–650, 2001.
- [39] Lee Dunn. *Theories of learning, Oxford Centre for Staff and Learning Developmentn*. <http://www.brookes.ac.uk/services/ocslld/resources/theories.html>, 2002.
- [40] Thomas Eiter, Wolfgang Faber, Nicola Leone, Gerald Pfeifer, y Axel Polleres. Planning under incomplete knowledge. En *Proceedings of the First International Conference on Computational Logic (CL2000), volume 1861 of Lecture Notes in Computer Science*, págs. 807–821. Springer, 2000.
- [41] Richard E. Fikes y Nils J. NHsson. Strips: A new approach to the application of .theorem proving to problem solving. *Artificial Intelligence*, 2:189–208, 1971.

-
- [42] Victor A. F. Lamme Floris P. de Lange, Simon van Gaal y Stanislas Dehaene. How awareness changes the relative weights of evidence during human decision-making. *PLoS Biology*, 9(11), 2011. doi:10.1371/journal.pbio.1001203.
- [43] Jerry A. Fodor. *The Modularity of Mind*. A Bradford Book, 1983. ISBN: 0262560259.
- [44] Chris Frith. *Making up the Mind: How the Brain Creates Our Mental World*. Wiley-Blackwell, 2007. ISBN: 1405136944.
- [45] M. Gebser, T. Grote, y T. Schaub. Coala: A compiler from action languages to ASP. págs. 360–364. .
- [46] M. Gebser, R. Kaminski, B. Kaufmann, T. Schaub, y B. Schnor. Cluster-based ASP solving with *clasp*. págs. 364–369. .
- [47] M. Gebser, B. Kaufmann, A. Neumann, y T. Schaub. Conflict-driven answer set solving. págs. 386–392. .
- [48] Michael Gelfond y Vladimir Lifschitz. The stable model semantics for logic programming. págs. 1070–1080. MIT Press, 1988.
- [49] Michael Gelfond y Vladimir Lifschitz. Representing action and change by logic programs. *Journal of Logic Programming*, 17:301–322, 1993.
- [50] Michael Gelfond y Vladimir Lifschitz. Action languages. *Electronic Transactions on Artificial Intelligence*, 2:193–210, 1998.
- [51] Elke U. Weber George Loewenstein y Christopher K. Hsee. Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127(2):267–286, 2001.
- [52] James Giordano. *Neurotechnology: Premises, Potential, and Problems (Advances in Neurotechnology)*. CRC Press, 2012. ISBN: 1439825866.
- [53] L.N. Teow K.H. Ng K.H. Tan R.Z. Chan G.W. Ng, Y.S. Tan. A cognitive architecture for knowledge exploitation. *Artificial General Intelligence*, 3:103–108, 2010.

-
- [54] Patrick Haggard y Benjamin Libet. Conscious intention and brain activity. *Journal of Consciousness Studies*, 8(11):47–63, 2001.
- [55] Stephen Hawking y Leonard Mlodinow. *The Grand Design*. Bantam, 2012. ISBN: 055338466X.
- [56] Arnaldo C. Hax y Dan Candeia. *Production and inventory management*. Prentice-Hall, 1984. ISBN: 0137248806.
- [57] Gray JA y Nebylitsyn VD. *The biological bases of individual behaviour*. Academic Press, 1972. ISBN: 0125153503.
- [58] Jose Contreras-Vidal Scott Weems David Jacobs Ransom Winder James A. Meggia, Malle Tagamets y Timur Chabuk. Development of a Large-Scale Integrated Neurocognitive Architecture Part 1: Conceptual Framework. Inf. téc., University of Maryland, 2006.
- [59] E.R. Kandel y L.R. Squire. Neuroscience: Breaking down scientific barriers to the study of brain and mind. *Science*, 290:1113–1120, 2000.
- [60] Eric R. Kandel. *In Search of Memory: The Emergence of a New Science of Mind*. W. W. Norton and Company, 2007. ISBN: 0393329372.
- [61] Robert Kurzban. *Why Everyone (Else) Is a Hypocrite: Evolution and the Modular Mind*. Princeton University Press, 2011. ISBN: 0691146748.
- [62] Ray Kurzweil. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. Penguin Books, 2006. ISBN: 0143037889.
- [63] D. Laird. *Approaches To Training And Development*. Basic Books, 1985. ISBN: 0201044986.
- [64] Newell A. Rosenbloom P. S. Laird, J. E. Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33(3), 2009.
- [65] Steven Laureys. The neural correlate of (un)awareness: lessons from the vegetative state. *Trends Cogn Sci*, 9(12):556–559, 2005.

-
- [66] Steven Laureys y Giulio Tononi. *The neurology of consciousness: Cognitive Neuroscience and Neuropathology*. Academic Press, 2008. ISBN: 0123741688.
- [67] Steven M. LaValle. *Planning Algorithms*. Cambridge University Press, 2006. ISBN: 0521862051.
- [68] Nilli Lavie. Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3):451–468, 1995.
- [69] Vladimir Lifschitz. Answer set planning. págs. 23–37. The MIT Press, 1999.
- [70] Vladimir Lifschitz. What Is Answer Set Programming? Inf. téc., Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2008.
- [71] John W. Lloyd. *Foundations of Logic Programming (Symbolic Computation / Artificial Intelligence)*. Springer, 1987. ISBN: 3540181997.
- [72] Logística. *Real Academia Española, vigésima segunda edición*. www.rae.es, 2012.
- [73] George A. Miller. The magical number seven, plus or minus two some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 101(2):343–352, 1956.
- [74] Thomas Nagel. What is it like to be a bat? *The Philosophical Review*, 83(4), 1974. doi:10.2307/2183914.
- [75] Allen Newell. *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press, 1994. ISBN: 0674921011.
- [76] Hideki Ohira. The somatic marker revisited: Brain and body in emotional decision making. *Emotion Review*, 2(3):245–249, 2010.
- [77] Langley Pat, John E. Laird, y Seth Rogers. Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10:141–160, 2009.
- [78] Ivan Petrovich Pavlov. *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Dover Publications Inc, 2003. ISBN: 0486430936.

- [79] Janneke F.M. Jehee Peter Kok y Floris P. de Lange. Less is more: Expectation sharpens representations in the primary visual cortex. *Neuron*, 75(2):265–270, 2012.
- [80] Lothar Pichehain. The importance of i. p. pavlov for the development of neuroscience. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 34(2):85–89, 1999.
- [81] H. Donald Ratliff y William G. Nulty. Logistics Composite Modeling. Inf. téc., The Logistics Institute at Georgia Tech, 1996.
- [82] White RC y Aimola Davies A. Attention set for number: expectation and perceptual load in inattention blindness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(5):1092–1107, 2008.
- [83] Andrés Roemer. Poder cívico y puebla: La ciudad de las ideas. 2013. URL <http://www.ciudaddelasideas.com/somos>.
- [84] Baldacchino A Blackshaw AJ Swainson R Wynne K Baker NB Hunter J Carthy T Booker E London M Deakin JF Sahakian BJ Robbins TW. Rogers RD, Everitt BJ. Dissociable deficits in the decision-making cognition of chronic amphetamine abusers, opiate abusers, patients with focal damage to prefrontal cortex, and tryptophan-depleted normal volunteers: evidence for monoaminergic mechanisms. *Neuropsychopharmacology*, 20(4):322–339, 1999.
- [85] Stuart J. Russell y Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education, 2003. ISBN: 0136042597.
- [86] Stephen H. Scott. Optimal feedback control and the neural basis of volitional motor control. *Nature Reviews Neuroscience*, 5:534–546, 2004.
- [87] John R. Searle. *Consciousness and Language*. Cambridge University Press, 2002. ISBN: 0521597447.
- [88] Michael Shermer. *The Believing Brain: From Ghosts and Gods to Politics and Conspiracies—How We Construct Beliefs and Reinforce Them as Truths*. Times Books, 2011. ISBN: 0805091254.

-
- [89] Sara J. Shettleworth. *Cognition, Evolution, and Behavior*. Oxford University Press, 2009. ISBN: 0195319842.
- [90] Patrik Simons, Ilkka Niemel, y Timo Soininen. Extending and implementing the stable model semantics. 2002.
- [91] B.F Skinner. superstition in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology*, 38(2):168–172, 1948.
- [92] B.F Skinner. *Science And Human Behavior*. Free Press, 1965. ISBN: 0029290406.
- [93] John K. Slaney y Sylvie Thiébaux. Blocks world revisited. *Artif. Intell.*, 125(1-2):119–153, 2001.
- [94] Aaron Sloman. Damasio, descartes, alarms and meta-management. En *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. 1998.
- [95] Larry R. Squire, James L. Roberts, Nicholas C. Spitzer, Michael J. Zigmond, Susan K. McConnell, y Floyd E. Bloom. *Fundamental Neuroscience*. Elsevier Academic Press, 2008. ISBN: 978012374019.
- [96] Tommi Syrjnen. Lparse 1.0 user’s manual.
- [97] Preston P. Thakral. The neural substrates associated with inattention blindness. *Consciousness and Cognition*, 20:1768177, 2011.
- [98] Amos Tversky y Daniel Kahneman. The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481):453–458, 1981.
- [99] R. J. Oentaryo W. Durch y M. Pasquier. Cognitive architectures: Where do we go from here? *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 171:122–136, 2008.
- [100] Sam Wang. Neuroscience of everyday life. [DVD-ROM], 2010.
- [101] Michael Wenger y Daniel Fitousi. Testing lavie’s (1995) perceptual load theory. *Journal of scientific research on biological vision*, 8(6), 2008. doi:10.1167/8.6.988.