



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**UN MODELO COMPUTACIONAL DEL DESARROLLO
DE LAS PRIMERAS MANIFESTACIONES DE
COMPORTAMIENTO INTENCIONAL EN UN AGENTE
ARTIFICIAL (PLATAFORMA ICUB)**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
**MAESTRO EN CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA
COMPUTACIÓN**

PRESENTA:

LUIS MIGUEL ESTRADA RAMOS

DIRECTOR:

**DRA. WENDY ELIZABETH AGUILAR MARTÍNEZ
IIMAS-UNAM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., NOVIEMBRE, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi tutora, la Dra. Wendy Elizabeth Aguilar Martínez, por permitirme aprender de ella, por su paciencia y por el tiempo dedicado para sacar adelante este trabajo.

A mis sinodales, los Dres. Luis Alberto Pineda Cortés, Sergio Rogelio Marcellin Jacques, Christian Lemaitre León y la Dra. Verónica Esther Arriola Ríos, por sus valiosas contribuciones que ayudaron mejorar este trabajo.

Finalmente, agradezco a la Mtra. Ana Yuri Ramírez Molina por el apoyo y las facilidades otorgadas para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Índice general

1. Introducción	9
1.1. Objetivos	12
1.2. Hipótesis	13
1.3. Contribuciones	13
1.4. Estructura de la tesis	14
2. Investigación Relacionada	15
3. Fundamentos teóricos	19
3.1. Desarrollo cognitivo	19
3.1.1. Estadio sensoriomotor	20
3.1.1.1. Primer subestadio: Acciones por reflejo	20
3.1.1.2. Segundo subestadio: Coordinación de esquemas primarios	21
3.1.1.3. Tercer subestadio: Acciones circulares secundarias	21
3.1.1.4. Cuarto subestadio: Coordinación de esquemas secundarios	23
3.1.1.5. Quinto subestadio: Acciones circulares secundarias	23
3.1.1.6. Sexto subestadio: Acciones circulares terciarias	23
3.2. Desarrollo de la intencionalidad	24
3.2.1. Niveles de intención	24
3.3. Desarrollo emocional del infante	27
3.3.1. Sistema emocional	28
3.3.2. Subsistemas del sistema emocional	29
3.3.3. Mecanismos de control	29
3.3.4. Emociones innatas	30
3.3.5. Interdependencia del sistema emocional y cognitivo	31
4. Antecedentes: El agente Jacques y el modelo <i>Dev E-R</i>	35
4.1. Jacques	35
4.2. Dev E-R: <i>The developmental engagement reflection model</i>	40
4.2.0.1. Funcionamiento general	40
4.2.0.2. Simulación del proceso de acomodación	40
4.2.0.3. Simulación del equilibrio cognitivo	42

4.2.0.4. Simulación del proceso de asimilación	42
4.3. Desarrollo cognitivo en el agente Jacques	44
4.4. PiaDev: El agente Jacques mejorado	46
4.5. Dev E-R 2.0	47
4.5.1. Acomodación	48
4.5.2. Asimilación	51
4.6. Desarrollo cognitivo en el agente PiaDev	51
5. Jacub: La reimplementación del agente Jacques en la plataforma iCub	55
5.1. iCub y la plataforma YARP	55
5.1.1. El robot humanoide iCub	55
5.1.2. YARP: Yet Another Robot Platform	56
5.1.3. iCub software	58
5.1.4. Simulador del iCub	58
5.2. Jacub	60
5.2.1. Características físicas	61
5.2.2. Ciclo de percepción y acción	61
5.2.3. Arquitectura Cognitivo-Afectiva	63
5.2.3.1. Percepción	64
5.2.3.2. Atención	67
5.2.3.3. Emociones	68
5.2.3.4. Memoria	71
5.2.3.5. Adaptación	76
5.2.3.6. Locomoción	77
6. <i>Intentional Dev E-R</i> (versión 3.0 del modelo Dev E-R)	79
6.1. Nuevos estados emocionales	80
6.2. Cambios antes de entrar en modo Engagement	81
6.3. Cambios en modo Engagement	82
6.4. Cambios en modo Reflection	83
7. Experimentos y resultados	89
7.1. Conocimiento y configuraciones iniciales	89
7.2. Surgimiento de prensión y centrado en el campo de visión, de lo que está viendo y probablemente tocando	91
7.3. Automatización de comportamientos representados por esquemas con profundidad mayor que uno	95
7.4. Surgimiento de mirada alternada parcial en el centro del campo de visión	100
7.5. Surgimiento de mirada alternante total en el centro del campo de visión	106
7.6. Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que real- mente está tocando con la mano	110
8. Discusión y conclusiones	123

Bibliografía	125
A. Base de conocimiento inicial de Jacob	129
B. Esquemas desarrollados por Jacob	145

Capítulo 1

Introducción

La robótica, y en general la IA, ha encontrado dificultades para construir agentes inteligentes autónomos y adaptables a su entorno. El enfoque tradicional en el desarrollo de robots se ha concentrado en encontrar una representación adecuada del mundo (controlado) y la programación de las reglas y excepciones que le permitan al agente manipular dicha representación para tomar decisiones, planear o actuar en su entorno. Encontrar un conjunto de reglas que permitan a un agente actuar de manera efectiva y adaptable a su entorno no parece ser una tarea fácil, y en opinión de algunos, tal enfoque no tiene posibilidades de modelar una verdadera inteligencia artificial (Dreyfus, 1979; Searle, 1980). En este sentido, recientemente ha ganado terreno un enfoque de construcción de agentes artificiales basado en teorías de la psicología del desarrollo infantil. La creencia de los que practican este enfoque es que construir agentes con capacidades cognitivas básicas pero que le permitan desarrollarse y adquirir habilidades más complejas, como lo hacen los niños desde que nacen, puede producir sistemas inteligentes más robustos y adaptables. A este enfoque se le ha denominado *developmental robotics*. La investigación que se realiza en esta área de la IA ha permitido no solamente desarrollar agentes más adaptables a su entorno, sino también probar en robots los modelos propuestos por la psicología del desarrollo.

Actualmente, la teoría de Piaget sobre el desarrollo cognitivo (Piaget and Cook, 1952) sigue siendo la teoría más general y completa que existe para explicar cómo los humanos adquirimos incrementalmente nuevo conocimiento de nosotros mismos y del mundo en el que vivimos. Para Piaget, la infancia del individuo juega un papel vital y activo en el desarrollo de su inteligencia, de tal forma que para él, los niños aprenden a través de explorar activamente el mundo. Su teoría se centra en la idea de que los humanos desde que nacemos continuamente nos adaptamos a nuestro entorno, tal adaptación se lleva a cabo mediante dos procesos complementarios llamados asimilación y acomodación. Por un lado, la asimilación se refiere a interactuar con el entorno usando el conocimiento de experiencias previas. Por otro lado, la acomodación se refiere a la modificación del

1. INTRODUCCIÓN

conocimiento actual cuando éste difiere o entra en conflicto con la realidad. Una de las principales aportaciones de su teoría son las cuatro etapas del desarrollo cognitivo. La primera es la etapa sensorio-motora, que se extiende desde el nacimiento hasta la adquisición del lenguaje. A su vez, Piaget divide la etapa sensorio-motora en los siguientes subestadios:

- **1 Subestadio** (nacimiento a 6 semanas): Reflejos simples
- **2 Subestadio** (6 semanas a 4 meses): Primeros hábitos y acciones centradas en el propio cuerpo
- **3 Subestadio** (4 a 8 meses): Acciones de interacción con el entorno (coordinación entre visión-prensión que se traduce en la habilidad de agarrar objetos de manera intencional)
- **4 Subestadio** (8 a 12 meses): Coordinación entre esquemas que sirven como medios y otros como fines, que permiten hacer una planificación deliberada para alcanzar un objetivo.
- **5 Subestadio** (12 a 18 meses): Experimentación para adquirir nuevos medios para alcanzar sus fines. Para esto, el niño comienza a establecer relaciones más claras entre las causas y efectos.
- **6 Subestadio** (18 a 24 meses): Internalización de esquemas. Esta etapa se caracteriza por la aparición de las representaciones mentales duraderas, a través del uso de símbolos primitivos.

Drescher (1991), probablemente fue el primero en crear un “bebé computacional” basado en la teoría de Piaget, el cual “nacía” con conocimiento innato muy limitado y general, y era capaz de desarrollar incrementalmente nuevo conocimiento característico de los primeros subestadios del periodo sensoriomotor conforme éste interactuaba con su mundo. Motivados por su trabajo, comenzaron a crearse otros modelos computacionales del desarrollo cognitivo basados en la teoría de Piaget. Stojanov (2009) presenta una revisión detallada de éste tipo de sistemas. Entre los trabajos más recientes, se encuentra el propuesto por Aguilar et. al. (2015; 2017), quienes propusieron un modelo computacional del desarrollo cognitivo temprano implementado como un proceso creativo. Dicho modelo, llamado *Dev E-R (Developmental Engagement-Reflection)*, está inspirado en el mecanismo de asimilación y acomodación que, según Piaget, es responsable del desarrollo cognitivo en la infancia. Para ponerlo a prueba, crearon un agente virtual al que le dieron el nombre de Jacques y que en base a este modelo puede aprender nuevos comportamientos característicos del segundo y del inicio del tercer subestadio del periodo sensoriomotor. Un par de años más tarde, Sánchez (2017) en su tesis de maestría extendió el modelo propuesto por Aguilar et. al. (ahora *Dev E-R 2.0*) para dotar al agente de la capacidad de ir incrementando su memoria a corto plazo confor-

me se va construyendo el conocimiento. Esto le permitió al agente virtual desarrollar sus primeras habilidades de coordinación entre la visión y la prensión, correspondientes al tercer subestadio del periodo sensoriomotor. Sin embargo, hasta donde sabemos, ninguno de los trabajos existentes se enfoca en modelar el desarrollo de las primeras muestras de comportamiento intencional, las cuales de acuerdo a Piaget se pueden observar durante el tercer y cuarto subestadio del periodo sensoriomotor, y al que define como aquél que cumple con las siguientes condiciones:

1. El infante tiene un deseo o una meta en mente.
2. En presencia de un obstáculo que impide alcanzar la meta original el infante intenta un acercamiento indirecto a la meta.
3. Para superar el obstáculo el infante emplea un comportamiento alternativo al original pero con la misma funcionalidad

Desafortunadamente, Piaget no da una descripción muy detallada del surgimiento de estos procesos, y se limita a decir que la sustitución de un comportamiento por otro requiere de la coordinación de esquemas mediante un proceso de asimilación generalizada.

Años después, Michael Lewis (1990), basado en las ideas de Piaget, propuso una teoría del desarrollo de la intencionalidad y de su interdependencia con el desarrollo del conocimiento y de las emociones, que hasta el momento sigue siendo de las más detalladas. Para él, el desarrollo del conocimiento tiene que ver con los cambios en las estructuras cognitivas, en particular, cambios en la habilidad de representación y el incremento en capacidad de memoria. Estos cambios son influenciados por factores genéticos y por la interacción con el ambiente. El segundo proceso tiene que ver con el crecimiento emocional del infante. Para Lewis las emociones son la base de la intencionalidad. Al principio el infante solo cuenta con emociones de agrado y desagrado, y conforme se desarrolla (primeros 2 años de vida) estas se diferencian y diversifican en una gama emocional más compleja. Él propone que las personas nacemos con un nivel de intencionalidad muy básico que causa que nuestro comportamiento esté motivado por la meta de la supervivencia y la adaptación, y que conforme nos desarrollamos pasamos por cinco niveles de intencionalidad diferentes. Para él, la transición entre los distintos niveles está mediada por un desarrollo emocional.

Una de las teorías mejor articuladas respecto al desarrollo emocional que permite ligar las ideas de Piaget con las de Lewis, es la propuesta por Case et al. (1988). La teoría de Case parte de la hipótesis de que la cognición y la emoción son producto de dos sistemas diferentes, pero interdependientes. Consistentemente con la visión de Piaget, para Case et al., toda interacción del infante con su mundo es experimentada por éste con una carga afectiva, ya sea positiva, negativa o neutral. Otra premisa de la teoría de Case es que desde el nacimiento el niño es capaz de controlar, al menos en cierto grado, su experiencia emocional y cognitiva. Esta afirmación parece estar en conformidad con la premisa de Lewis de que nuestro comportamiento es intencional desde el

nacimiento. Case et al. postulan dos pares opuestos de emociones a las que denomina innatas y a partir de las cuales se deriva todo el espectro emocional en humanos. El primer par lo constituyen las emociones de *contentment* y *distress*, los cuales se plantean como precursores de emociones como la alegría y el enojo, respectivamente. El segundo par lo constituyen las emociones de *sensory engagement* y *sensory disengagement*, considerados como precursores de el interés y el aburrimiento, respectivamente. Es a partir de estas emociones innatas, y debido a cambios producto de la madurez biológica y cambios cognitivos, que nuevas emociones emergen. A su vez, las nuevas emociones provocarán cambios cognitivos. Para Case et al., es esta influencia circular entre el sistema afectivo y cognitivo lo que promueve el desarrollo cognitivo-emocional del infante.

1.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo consiste en dotar a un robot virtual de la capacidad de desarrollar sus primeras manifestaciones de comportamiento intencional usando el modelo *Dev E-R* y tomando como inspiración la teoría de Piaget, la teoría de Lewis y la teoría de Case.

Como objetivos particulares de este trabajo se tienen los siguientes:

a) **Migrar al agente Jacques al simulador de la plataforma iCub.**

Actualmente el agente virtual para probar el modelo *Dev E-R* (en sus dos versiones) se encuentra en una plataforma virtual llamada Sweet Home 3D. Dicha plataforma permite simular un robot humanoide con la apariencia de un niño y colocarlo en diferentes mundos virtuales como una sala de juegos, un bosque, etc. El agente cuenta con un cuerpo con una cabeza, un tronco, dos brazos y dos piernas, así como sensores táctiles y visuales. A pesar de que las funcionalidades necesarias tanto para el agente como para el mundo virtual pudieron ser implementadas en la plataforma Sweet Home 3D, las características físicas y sensorio-motoras del agente en esta plataforma son limitadas. Para que el agente pueda contar con una constitución corporal más parecida a la humana se desea migrar el agente a la plataforma iCub, la cual es una plataforma robótica de código abierto desarrollada por el Instituto Italiano de la Tecnología (IIT). El robot iCub está especialmente diseñado como una plataforma de investigación en robótica humanoide y ciencias cognitivas, y morfológicamente tiene la apariencia de un niño de tres años. Desafortunadamente, para este trabajo de investigación no se cuenta con la plataforma física del robot. Sin embargo, la plataforma iCub proporciona un simulador virtual que implementa todas las característi-

cas y capacidades del robot real. Por tal motivo, en esta investigación se trabajará con el simulador virtual de la plataforma iCub para reimplementar el agente Jacques.

b) **Extender el modelo *Dev E-R 2.0* de tal forma que le permita al agente virtual:**

- Diferenciar sus emociones de agrado y desagrado en *joy* y *rage*, respectivamente
- Diferenciar entre aquellos comportamientos que funcionan como medios para alcanzar un fin de aquellos que son un fin en sí mismos.
- Autogenerarse metas, es decir establecerse el objetivo de producir un efecto placentero e interesante en el entorno, que ya había experimentado anteriormente.
- Realizar comportamientos alternativos cuando una situación inesperada (obstáculo) le impide alcanzar su meta de manera directa.

1.2. Hipótesis

El incremento de la capacidad de la memoria a corto plazo, la incorporación de diversificación de emociones, de diferenciación entre fines y medios, de autogeneración de metas, así como de ambientes en los cuales el agente se enfrente a obstáculos que le impidan alcanzar una meta de manera directa, llevarán al agente a desarrollar nuevas habilidades relacionadas con la consolidación de la coordinación entre la visión y la prensión

1.3. Contribuciones

En general, se espera que este trabajo de investigación contribuya al estudio del del comportamiento intencional en la infancia, poniendo a prueba las ideas propuestas por Piaget referentes al desarrollo de éste. En el área de la robótica y la inteligencia artificial se espera que este trabajo aporte nuevas ideas al diseño de sistemas inteligentes intencionales.

En particular, las aportaciones al modelo *Dev E-R* se espera que sean las siguientes:

- **Proponer mecanismos cognitivos que le permitan al agente Jacques desarrollar comportamiento intencional:** por ejemplo, el desarrollo emocional.
- **Probar el modelo en la plataforma iCub:** La migración del agente virtual Jacques a un agente virtual en la plataforma iCub permitirá en un futuro seguir

extendiendo el modelo *Dev E-R* a etapas de desarrollo más avanzadas ya que la plataforma iCub tiene características físicas y elementos sensorio-motores más avanzados. Con este trabajo de migración en un futuro incluso se podría probar el modelo en un iCub físico.

1.4. Estructura de la tesis

Este trabajo está dividido en 9 capítulos. En el siguiente capítulo, el capítulo 2, se presenta un resumen de los trabajos previos relacionados al trabajo que aquí se presenta. El capítulo 3 introduce de forma resumida las ideas de Piaget a cerca del desarrollo cognitivo infantil y el comportamiento intencional, así como enfoques neo-Piagetianos al problema de la intencionalidad y el papel que juegan las emociones en el mismo. En el capítulo 4 se presentan de forma resumida las versiones anteriores del agente Jacques y del modelo Dev E-R. El capítulo 4 está reservado a presentar la plataforma iCub y su núcleo, YARP. En el capítulo 6 se describe la arquitectura del nuevo agente virtual sobre la plataforma iCub (Jacub), en este capítulo se detalla su funcionalidad y nuevas características. El capítulo 7 está reservado para describir las modificaciones al modelo *Dev E-R*. El capítulo 8 describe los pruebas de las nuevas versiones del agente virtual y *Dev E-R*; además se detallan los nuevos comportamientos desarrollador por el agente. Finalmente en el capítulo 9 se discuten los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones de este trabajo.

Capítulo 2

Investigación Relacionada

En su artículo de 1950 " *Computing Machinery and Intelligence*", Alan Turing plantea por primera vez la idea de modelar computacionalmente la mente de un recién nacido y posteriormente educarla como se hace con un niño humano (Turing, 1950). Para Turing, esta era la ruta más prometedora para crear una inteligencia artificial equiparable a la inteligencia humana. En otras palabras, lo que Turing planteaba era la construcción de un mecanismo general de aprendizaje que pudiera construir nuevo conocimiento de forma autónoma. Sin embargo, esta idea no fue tomada en cuenta en el proyecto de investigación del campo de la Inteligencia Artificial que surgiría pocos años después en 1956. El incipiente campo de la IA le apostó más a los sistemas basados en conocimiento bajo el principio de que el poder de la inteligencia proviene del conocimiento. A pesar del optimismo que se vivía en los inicios de la IA, el proyecto de crear una IA no prosperó como se pensaba.

La idea de una mente infantil artificial estuvo olvidada hasta que, Drescher en 1991, basándose en la teoría de Piaget, retoma la idea planteada por Turing (Drescher, 1991). En su trabajo simula un bebé que puede ver, tocar y agarrar una serie de objetos presentes en un mundo virtual bidimensional (una cuadrícula de 7x7) en el que habita. Su modelo implementa un mecanismo de aprendizaje empírico y de formación de conceptos, en el cual el agente inicia sin conocimiento y es capaz de aprender a interactuar con su mundo aprendiendo a predecir los efectos que tendrán sus acciones. Drescher modela estas predicciones con una estructura llamada esquema que está compuesta por: un contexto, una acción y un resultado. Es decir, si se realiza la acción en tal contexto, entonces se espera que el resultado ocurra. Los esquemas son actualizados y creados reflejando así la experiencia y el aprendizaje del agente bebé en el mundo virtual. El bebé artificial de Drescher fue capaz de aprender varios esquemas que emulaban comportamientos característicos de los primeros estadios del periodo sensoriomotor propuesto por Piaget. A pesar de que el modelo recibió algunas críticas debido a su ineficiencia computacional (Chaput, 2004; Witkowski, 2013) que impiden su uso en mundos más complejos, el trabajo de Drescher y las ideas generales de su modelo son consideradas

2. INVESTIGACIÓN RELACIONADA

pioneras en el campo de la IA constructivista (Guerin, 2011).

En 1997 Stojanov et al. diseñaron un agente llamado Petitagé que habita en un mundo bidimensional con muros que debe esquivar y comida que debe encontrar. Stojanov utiliza una estructura similar a los esquemas de Drescher a los que él llamó expectativas. Las expectativas incluyen contextos emocionales que describen la eficacia de una acción para satisfacer una necesidad particular, como por ejemplo, hambre. Respecto al trabajo de Drescher la introducción de impulsos (*drives*) es una innovación que promueve comportamientos dirigidos por necesidades.

Por otro lado, Paul Cohen et al. (1997) propusieron un bebé simulado llamado Neo que habita un mundo virtual. Neo aprende categorías y conceptos a través de interactuar con su mundo. El proceso de aprendizaje es jerárquico, empezando con flujos de datos de bajo nivel (que describen propiedades tales como color y forma de los objetos vistos). El modelo aprende a categorizar en base a las propiedades interaccionales de los objetos, es decir todos los objetos que puede agarrar y chupar implícitamente pertenecen a la misma categoría.

Al igual que Drescher, mucho del trabajo de investigación en robótica del desarrollo que se ha hecho hasta ahora ha tomado como inspiración teorías provenientes de la psicología del desarrollo. Por ejemplo, Schlesinger y Barto (1999) implementaron un modelo que simula un infante que aprende a seguir visualmente y a predecir la trayectoria de objetos en escenarios libres de obstáculos como en presencia de éstos.

En 2001 Stojanov extiende su trabajo presentado en 1997 utilizando esquemas de Piaget y memorias asociativas que le permiten al agente aprender a ligar esquemas para llevar a cabo secuencias de acciones dirigidas a alcanzar metas.

Otro trabajo relevante fue el presentado por Chaput (2004), quien desarrolló una arquitectura de aprendizaje constructivista (CLA por sus siglas en inglés) la cual está basada en la teoría del desarrollo cognitivo de Leslie Cohen (1998), la cual es un refinamiento de la teoría de Piaget. A grandes rasgos, según Cohen, los niños aprenden a procesar la información que reciben construyendo progresivamente niveles de abstracción cada vez más altos sobre abstracciones de niveles anteriores. Según esta teoría, los niños tienden a procesar la información usando las abstracciones de más alto nivel, a menos que la información a procesar sea muy compleja, en cuyo caso recurren a las abstracciones de más bajo nivel e intentan refinar las abstracciones usadas, de modo que pueda procesar la información en niveles más altos de abstracción (Guerin, 2011). Chaput modela los diferentes niveles de abstracción de la teoría de Cohen usando *Mapas Auto Organizantes*. La arquitectura fue probada en un agente virtual que habita un mundo de dos dimensiones. CLA demostró modelar exitosamente aspectos del desarrollo infantil, en particular la percepción de causalidad. El modelo de Chaput proporciona mejoras al mecanismo de Drescher y además replica todas sus funcionalidades.

Una generalización y mejora del modelo de Drescher fue la presentada por Holmes e Isbell (2005). Ellos utilizan *Procesos de Decisión de Markov Parcialmente Observables*

(POMDP) para predecir el resultado de una acción en base a la experiencia sensoriomotora histórica del agente (ver Guerin, 2011, para una síntesis del trabajo de Holmens e Isbell).

Otro trabajo interesante basado en esquemas es el *Mecanismo de Aprendizaje Constructivista Anticipatorio* (CALM). CALM es un mecanismo que posibilita a un agente aprender la estructura desconocida del mundo que habita, a través de observar y experimentar creando un modelo anticipatorio de su mundo (Perotto et al., 2007). El mecanismo de aprendizaje se basa en tres métodos: diferenciación, ajuste e integración. La diferenciación se aplica cuando un esquema muy general produce resultados diferentes a los esperados, lo cual lleva a la creación de dos esquemas más específicos. El ajuste de un esquema ocurre cuando al ejecutar un esquema que ya es específico se obtienen resultados inesperados, en este caso cualquier elemento erróneo en el resultado esperado simplemente se generaliza. La integración consisten en mezclar dos esquemas específicos con el mismo resultado para formar un esquema más general. Si bien el método de aprendizaje parece sólido, la prueba a la que se sometió este mecanismo fue usando un problema de juguete, por lo que su robustez y potencial para resolver tareas concretas es desconocido.

Uno de los trabajos más recientes basado en teorías del desarrollo cognitivo es el presentado por Aguilar (2015, 2017). Su modelo llamado *Dev E-R (Developmental Engagement-Reflection)*, simula los procesos de asimilación-acomodación-equilibración propuestos por Piaget. *Dev E-R* está inspirado en el modelo Engagement-Reflection (Pérez and Sharples, 2001) que modela computacionalmente el proceso creativo. Para probar su modelo, desarrolló un agente virtual llamado Jacques que habita un mundo tridimensional en el cual existen objetos con los que el agente puede interactuar. Jacques almacena sus experiencias de interacción con el mundo en estructuras llamadas esquemas sensoriomotores. Éstos son modificados en ciclos de engagement-reflection permitiéndole al agente construir de forma autónoma su conocimiento del mundo. Jacques es capaz de desarrollar comportamientos característicos del primer y segundo subestadio del periodo sensoriomotor. Sánchez (2017) extendió *Dev E-R* incrementando paulatinamente la capacidad de memoria del agente y almacenando los esquemas en estructuras de árbol. Ésto le permitió a Jacques desarrollar comportamientos característicos del tercer subestadio del periodo sensoriomotor, en particular algunos relacionados con la coordinación visión-tacto.

Capítulo 3

Fundamentos teóricos

3.1. Desarrollo cognitivo

En el campo de la psicología del desarrollo cognitivo infantil, área en la cual se enmarca este trabajo de investigación, la teoría del psicólogo suizo Jean Piaget es reconocida como la primer teoría general sobre el desarrollo de la inteligencia en los niños.

Piaget consideraba la inteligencia como una consecuencia de la adaptación biológica de los organismos a su entorno. En este sentido, se habla de adaptación, cuando el organismo es transformado por el entorno y dicha transformación resulta en un equilibrio favorable para la preservación del organismo. Tal equilibrio es producto de dos procesos complementarios: *asimilación* y *acomodación* (Piaget and Cook, 1952, p. 4). Como proceso biológico la asimilación sucede cuando un organismo integra energía o sustancias a su organización interna, mientras que la acomodación se da, por ejemplo, cuando a causa de la escasez de una sustancia el organismo la sustituye por otra no sin antes reorganizar su estructura interna para poder integrar la nueva sustancia.

Piaget aplica las ideas de asimilación y acomodación biológica para explicar la inteligencia como una adaptación intelectual. En este sentido, la asimilación consiste en integrar la percepción del mundo a las estructuras cognitivas existentes, mientras que la acomodación es el proceso mediante el cual se modifica dichas estructuras para integrar nuevos conocimientos y experiencias. Es así, que el desarrollo intelectual se puede ver como un progresivo equilibrio cognitivo impulsado por una constante asimilación y acomodación al entorno.

En la visión de Piaget sobre el desarrollo de la inteligencia el organismo no es un ente pasivo que solo percibe el mundo y absorbe conocimiento, sino que actúa sobre su entorno y participa en él (Goldstein et al., 2015, p. 143). En otras palabras, Piaget creía que el conocimiento no era algo a priori o innato, sino que éste se construye y organiza como resultado de la interacción del individuo con el mundo. Este conocimiento,

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

según Piaget, se almacena y organiza en estructuras cognitivas a las que él denomina *esquemas*. En este sentido, Piaget sugiere que nacemos con esquemas básicos que corresponden a reflejos biológicos, por ejemplo, un esquema para succionar cuando algo entra en contacto con la boca. Los esquemas básicos inicialmente tienen como objetivo funcional la supervivencia, sin embargo, estos son la base para construir esquemas más complejos que eventualmente dan lugar a esquemas mentales y a comportamientos más complejos.

Si bien el desarrollo cognitivo es un continuo, en su análisis Piaget divide el desarrollo cognitivo infantil en cuatro etapas principales. En este trabajo solo se describe la primera etapa, denominada etapa sensoriomotora, por ser la más relevante para esta investigación.

3.1.1. Estadio sensoriomotor

Piaget denomina estadio sensoriomotor a la primera etapa del desarrollo cognitivo. Esta abarca desde el nacimiento hasta aproximadamente los 2 años, precediendo a la adquisición del lenguaje y al surgimiento del pensamiento simbólico. Abarca desde el nacimiento hasta aproximadamente los 2 años. Durante este estadio el niño aprende a coordinar su sistema sensoriomotor y construye de forma progresiva el conocimiento del mundo que le rodea, interactuando con él de forma activa y experimental. En esta etapa los niños interactúan con el mundo usando esquemas de succión, empuje, jalar, golpear o de prensión para explorar y manipular, y en última instancia conocer el mundo que los rodea. Al inicio, el infante no es consciente de sí mismo, de cuáles efectos son resultado de sus acciones, ni de cuáles efectos son independientes de éstas. Mediante la interacción con su ambiente y su contexto social gradualmente el niño aprenderá a diferenciar entre él, los otros y el mundo (Goldstein et al., 2015, p. 144). Piaget identifica en esta etapa una tendencia innata a la repetición de comportamientos.

El estadio sensoriomotor se divide a su vez en seis subestadios, caracterizados por una creciente complejidad en los comportamientos y habilidades adquiridos respecto a los subestadios anteriores. A continuación se da una breve descripción de cada subestadio, se presenta con más detalle el tercer subestadio por ser el de mayor interés para este trabajo.

3.1.1.1. Primer subestadio: Acciones por reflejo

En el primer subestadio del desarrollo cognitivo (del nacimiento a 6 semanas aprox.) los patrones de acción con los que cuenta el infante son biológicamente dados (reflejos e instintos). Por ejemplo, la acción refleja de cerrar la mano cuando algo entra en contacto con ella o de succionar cuando algo entra en contacto con su boca. Si bien las acciones reflejas son dadas de nacimiento, éstas necesitan ser adaptadas (acomodadas)

al medio para que resulten funcionalmente efectivas. En esta etapa puede distinguirse claramente el proceso de asimilación: el niño asimila el mundo como algo que puede ser chupado, es así que chupa todo lo que entra en contacto con su boca, incluyendo su propia mano cuando ésta toca accidentalmente su boca. Así mismo, es notable la falta de coordinación entre los esquemas básicos. Por ejemplo, el infante es incapaz de usar un esquema de prensión para asir un objeto que está siendo observado usando un esquema de visión.

3.1.1.2. Segundo subestadio: Coordinación de esquemas primarios

Debido a la tendencia a la repetición de los esquemas reflejos y la preservación de los estímulos placenteros, surgen los primeros hábitos y lo que Piaget denomina reacciones circulares primarias, características del segundo subestadio (6 semanas a 4 meses aprox.). En esta etapa las acciones del infante se centran principalmente en su propio cuerpo, es decir en aquellas que le producen placer, como por ejemplo, chuparse el dedo. En el primer subestadio el niño es capaz de chupar su dedo solo cuando accidentalmente este toca su boca, pero es incapaz de coordinar los movimientos de la mano para mantener su mano en la boca. Sin embargo, en el segundo subestadio el niño aprende a coordinar los esquemas de chupar y mover la mano lo cual da lugar a un nuevo esquema para chupar el dedo. Otras coordinaciones observables en el segundo subestadio son la coordinación entre esquemas de visión y de prensión, lo cual le permite asir el objeto en su campo de visión; o la coordinación entre esquemas de prensión y de visión, lo cual le permite voltear a ver algo que está asiendo. Esta coordinación no es espontánea, sino que obedece a una acomodación gradual de los esquemas involucrados. La coordinación entre los esquemas de visión y prensión tiene una consecuencia importante, de ahora en adelante la atención del infante estará orientada hacia objetos y no solo a estímulos sensoriales (Drescher, 1991, p. 27).

3.1.1.3. Tercer subestadio: Acciones circulares secundarias

Este subestadio (4 a 8 meses aprox.) se caracteriza por el surgimiento de: 1) acciones circulares secundarias, 2) un comportamiento dirigido por metas, 3) una incipiente diferenciación entre medios y fines, y 4) la coordinación entre visión y prensión.

Acciones circulares secundarias

A diferencia de las acciones circulares primarias, las cuales se basan en comportamientos reflejos, las acciones circulares secundarias corresponden a los primeros comportamientos desarrollados que no surgen de reflejos. Mientras que en las acciones circulares primarias los efectos interesantes son relativos al cuerpo del infante, en esta etapa los eventos interesantes se ubican en el exterior, es decir, ocurren en el ambiente. El niño en esta etapa puede causar accidentalmente un efecto interesante y placentero en el

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

ambiente, lo que lo llevará a tratar de recrear ese evento interesante. Por ejemplo, si accidentalmente el niño golpea un móvil que pende sobre su cabeza, y al hacerlo, éste produce un sonido interesante, el niño intentará reproducir el efecto repitiendo la acción de golpear.

Comportamiento dirigido por metas

En la primer etapa de desarrollo cognitivo, las acciones son activadas por los estímulos externos, de modo que, el infante solamente es capaz de reproducir la acción cuando recibe un estímulo análogo al que se encuentra asociada la acción o por mera repetición. En contraste, en las etapas más avanzadas de desarrollo cognitivo, la acción involucra la capacidad del individuo de disociar y reagrupar comportamientos para conseguir una meta, la cual él mismo se ha establecido, de forma relativamente independiente de la influencia del medio. En este subestadio las metas no se establecen a priori, sino únicamente al momento de repetir la acción. De ahí que se puede considerar este subestadio como las primeras muestras de una transición de un “actuar cuando” a un “actuar para”, es decir, el inicio de una transición hacia comportamientos verdaderamente intencionales.

Diferenciación de medios y fines

Igual que las acciones circulares primarias, las acciones circulares secundarias son promovidas por la repetición. Sin embargo, entre más esfuerzo requiere el infante para reproducir el efecto interesante, más claro se hace para él la distinción entre medios y fines. En el caso de los esquemas reflejos, éstos forman una totalidad indisoluble, es decir, son activados por el ambiente en su totalidad sin distinción entre medios y fines. En comparación con los esquemas reflejos, la complejidad de los esquemas asociados a los primeros hábitos (por ejemplo, chuparse el dedo) es mayor, ya que, además de la acción refleja, involucran un elemento aprendido (acercar la mano a la boca), por lo que repetir el resultado interesante involucrará la conjunción de factores que no necesariamente están unidos entre sí. Aún así, ya que la conjunción de factores, aunque adquirida, está impuesta por la morfología del cuerpo, el resultado interesante sigue siendo fácil de reproducir sin que haya una distinción entre medios y fines. En contraste, tan pronto como el resultado interesante se ubica en el mundo externo, es decir en objetos independientes del cuerpo del infante, el esfuerzo requerido para reproducir el resultado llevará al infante a percatarse de la distinción entre medios y fines. Para Piaget, es sólo hasta este punto del desarrollo cognitivo del infante que se puede empezar a hablar de intención y del inicio de una transición de “actuar cuando” a “actuar para”. No obstante, esta transición se completará solo hasta que los medios que hacen reproducible el resultado interesante estén completamente disociados del fin, lo cual permitirá al infante aplicar medios conocidos para nuevos fines, en otras palabras, cuando sea posible la intercoordinación de esquemas, lo cual caracteriza el siguiente subestadio. El infante en esta etapa aún no tiene disociados por completo los medios de los fines, por lo que tiende simplemente a reproducir el resultado interesante, sin poder emplear los medios conocidos para nuevos fines.

coordinación entre visión y prensión

En este subestadio el infante es capaz de coordinar la prensión y la visión, por lo cual sabe cómo asir el objeto que ve y traer a la vista el objeto que toca.

3.1.1.4. Cuarto subestadio: Coordinación de esquemas secundarios

El cuarto subestadio (8 a 12 meses aprox) se caracteriza por la capacidad del infante de utilizar un esquema familiar para un propósito nuevo en una situación nueva y por la coordinación de esquemas secundarios. Un ejemplo clásico de comportamiento es la remoción de un objeto que bloquea la prensión de un juguete deseado. Inicialmente el desplazamiento del objeto que bloquea puede ocurrir por accidente, pero en algún punto la atención se enfoca en remover el obstáculo, al principio torpemente, pero posteriormente la coordinación de esquemas de agarrar, levantar y mover dan lugar a un esquema de remoción de obstáculos el cual se subordina a la meta de obtener el objeto deseado.(Drescher, 1991, p. 31).

3.1.1.5. Quinto subestadio: Acciones circulares secundarias

En este subestadio (1 año a 18 meses aprox.) el niño se interesa en experimentar con objetos con el propósito de descubrir su comportamiento en diferentes contextos de acción. A éste tipo de experimentos se les conoce como reacciones circulares terciarias, ya que involucran variación deliberada en la repetición de acciones poniendo atención a los efectos en el objeto más que en la acción misma. En este estadio se observa por primera vez la invención de nuevas formas de actuar frente a obstáculos inesperados. Por ejemplo, cuando un niño estira la mano a través de las barras de un corral de juego para alcanzar un juguete. Sin embargo, el niño se encuentra con que las barras impiden que el juguete pueda pasar a través de las barras. Esta situación requiere que el objeto sea rotado para que pueda pasar a través de las barras. Si bien el niño ya tiene un esquema para rotar objetos, aún no tiene un esquema para rotar un objeto relativo a otro. En esta situación, a través de prueba y error logra hacer la rotación correcta, lo cual resulta en un nuevo esquema de rotación relativa a otro objeto.

3.1.1.6. Sexto subestadio: Acciones circulares terciarias

La etapa comprendida entre los 18 meses y 2 años se caracteriza por el surgimiento del pensamiento simbólico y el incipiente lenguaje. El pensamiento simbólico, argumenta Piaget, es producto de la interiorización de la actividad física y del surgimiento de esquemas abstractos. Esto le permite al infante el entendimiento de eventos no observa-

bles, la realización de operaciones mentales y la solución de problemas sin la necesidad de tener que experimentar directamente con los objetos del mundo.

3.2. Desarrollo de la intencionalidad

De acuerdo a Piaget, en la etapa más temprana del desarrollo, el repertorio de acciones con que cuenta el recién nacido consta únicamente de patrones de acción biológicamente dados, los cuales son activados por eventos externos. Al ser biológicamente dados, Piaget considera que estos comportamientos carecen de intencionalidad. Sin embargo, al final del primer año (cuarto subestadio), el niño comienza a actuar para obtener cierto resultado. Es hasta ese momento que Piaget atribuye intencionalidad al comportamiento del infante, no obstante la considera una intencionalidad limitada. Es decir, esta incipiente intencionalidad es solamente una separación de medios y fines, lo cual le permite al infante utilizar los medios disponibles para un nuevo fin. No es hasta el final del quinto subestadio que Piaget atribuye verdadera intencionalidad al comportamiento del infante.

Uno de los críticos del modelo de Piaget es el psicólogo y pediatra estadounidense Michael Lewis. Lewis (1990) considera que en el modelo de Piaget es difícil justificar el surgimiento de la intencionalidad. Para Lewis, la intencionalidad no requiere ser creada ya que esta es parte inherente de nuestros estados mentales. En este sentido Lewis concuerda con Searl (1984), quien considera que nuestras acciones consisten de dos componentes: uno mental y otro físico; donde el componente mental es una intención. En el artículo "*The development of intentionality and the role of consciousness*" Lewis (1990) propone un modelo jerárquico del desarrollo de la intencionalidad basado en las observaciones de Piaget, pero asumiendo que nacemos con intencionalidad. En el modelo de Lewis el aspecto afectivo y emocional juegan un papel central en el desarrollo del comportamiento intencional. Los puntos centrales de la teoría de Lewis son que: (1) todos los sistemas dirigidos a metas son intencionales y (2) la intención está determinada por los estados afectivos que conforman la meta. En este trabajo, hemos complementado las ideas de Lewis respecto al desarrollo emocional con las ideas de Case et al. (1988) (ver sección 3.3).

3.2.1. Niveles de intención

Lewis propone una jerarquía de niveles de intencionalidad por las que pasa el infante durante el desarrollo, siendo el nivel más bajo la intencionalidad de los comportamientos innatos y el nivel más alto la intencionalidad de los comportamientos conscientes. A continuación se describen los niveles de intencionalidad propuestos por Lewis, describimos con mayor detalle los niveles I al III por ser los más relevantes para este

trabajo.

Nivel I - Necesidad

El primer nivel de intencionalidad corresponde a la etapa de reflejos del periodo sensorio-motor en el modelo de Piaget. En esta etapa el comportamiento tiene como meta (intención) satisfacer las necesidades del organismo para asegurar la supervivencia y la adaptación. A diferencia de Piaget, Lewis considera intencionales los comportamientos del recién nacido, tales como succionar cuando un objeto entra en contacto con la boca o hacer presión de un objeto colocado en la palma de la mano. Las metas en este nivel están asociadas a las emociones genéricas de agrado o desagrado, por lo que el comportamiento está orientado a obtener estímulos agradable y evitar los desagradables (*approach* y *avoid*). Este tipo de intención primitiva está incorporada es parte de la herencia biológica del organismo, sin embargo necesita ser acomodada para ser efectiva en un sentido adaptativo. En esta etapa tanto la intencionalidad del organismo como el sistema cognitivo están controlados por las emociones. De acuerdo a Lewis, los estados emocionales de “sentirse bien” y “sentirse mal” son los únicos estados emocionales asociados a las metas o intenciones primitivas, sin embargo, conforme los estados emocionales se diferencian el sistema intencional también se expande dando paso a nuevos tipos de intención.

Nivel II - Necesidad interactiva

Este nivel (y todos los niveles posteriores) requieren la interacción del infante con el ambiente. En el nivel II, de acuerdo a Lewis, las intenciones están relacionadas a la presencia o ausencia de ciertos eventos externos. Por ejemplo, la acción de un bebé cuando observa rostros. A causa de su naturaleza interactiva, a menudo el observador asume que la sonrisa del infante a esta edad es intencional. Es frecuente escuchar a los padres decir “sonríe porque le agradas”. En esta etapa las metas también tienen motivaciones emocionales cuya finalidad es la adaptación, solo que a diferencia del nivel anterior éstas son activadas principalmente por eventos externos. Con forme las emociones se diferencian o diversifican, surgen nuevas metas además de las de *approach* y *avoid*.

Para Lewis, el nivel II de su jerarquía tiene similitudes con el proceso de acomodación que propone Piaget; ya que el proceso de acomodación se puede concebir como yendo del objeto al sujeto obligándolo a actuar y adaptarse a él.

Lewis argumenta que es desarrollo de la memoria la que permite al infante la creación de asociaciones (representaciones) de causa y efecto, siendo el ambiente el que establece las condiciones para el comportamiento orientado a metas. Es decir, “tengo el deseo (intención) de sonreír en presencia de un rostro”, si el evento ocurre entonces la meta se activa. Para Lewis, son estas asociaciones de causa y efecto las que permiten al infante pasar al siguiente nivel.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Nivel III - Intención de acción

De acuerdo a Lewis, explicativamente hablando, este nivel representa el mayor problema. Hasta antes de este nivel las metas son activadas por factores internos o externos como parte de las funciones adaptativas. En los niveles anteriores, las metas permanecen relativamente indiferenciadas, en parte porque las emociones tampoco están diferenciadas. Conforme las emociones se van diferenciando, las metas también se diversifican. De acuerdo a Lewis, en algún punto se establecen las asociaciones (no necesariamente direccional) entre metas y los contextos asociados con ellas. Esto probablemente se debe al incremento de la capacidad de memoria del infante.

En este nivel, dicha asociación puede dar paso a una inversión del proceso. En otras palabras, en esta etapa la relación causal entre metas y contextos se puede invertir; anteriormente las metas eran causadas por el ambiente, en esta nivel las metas pueden ser la causa de que el infante actúe para producir contextos específicos en su entorno. Desde este punto de vista se puede decir que en este nivel las metas se vuelven independientes del contexto. Lewis refiere que la principal dificultad en este nivel es explicar la inversión de la relación causal. Para Lewis, una posible explicación de esta inversión es que con la maduración de la memoria, el desarrollo de la capacidad de representación y anticipación del deseo, el infante puede ahora manipular las asociaciones contexto-meta permitiéndole invertir el orden causal. Así, por ejemplo, si antes un rostro producía la intención o deseo de sonreír, ahora es posible que el deseo de sonreír conlleve a la acción intencional de producir un rostro (un dibujo, tal vez).

Este nivel, de acuerdo a Lewis, tiene similitudes al proceso de asimilación, ya que se puede concebir como acción que procede del sujeto hacia el objeto, es decir una comportamiento de naturaleza predominantemente activo y no pasivo como en los niveles anteriores. Para Lewis, esta es una forma más genuina de la intención. La independencia de las metas del contexto asociado permiten comportamientos de tipo “*act on*” en lugar de solo comportamientos de tipo “*act when*”.

Nivel IV - Diversidad de intenciones

El desarrollo de la capacidad de representación permite en esta etapa la anticipación de emociones. De esta forma, las acciones son motivadas tanto por emociones reales como anticipadas. Para este momento las metas se han diferenciado aún más, en particular hasta este punto todas las emociones primarias se han diferenciado por completo. Adicionalmente, las acciones asociadas a las metas también se han diversificado ya que ahora el niño posee más habilidades motrices, lo que permite mayor diversidad de acción y también una mayor diversidad de ambientes y contextos en los que se puede encontrar inmerso. Todos estos cambios dan paso a la habilidad de utilizar alternativas, en otras palabras, ahora el infante es capaz de seleccionar de entre las metas la más deseable y las acciones con mayor probabilidad de llevarlo a la meta (planeación). Lewis destaca en esta etapa la posibilidad de resolución de problemas sin acción observable, ya que ahora las acciones también incluyen pensamientos sobre acciones.

Nivel V - Intención consciente

La característica distintiva de este nivel es el surgimiento de la consciencia (*objective awareness of intention*), de modo que a partir de este nivel el infante se percata de sus acciones como de sus metas. Como lo plantea Lewis, la consciencia es un metaproceto que le permite al infante evaluar y modificar sus intenciones. Al igual que en los niveles anteriores la intención consciente también está respaldada por la emoción, sin embargo, debido a la autoconsciencia, el individuo es capaz de separar la intención del aspecto emocional. Para Lewis, el surgimiento del metaproceto de consciencia propicia el surgimiento de dos clases de emoción que anteriormente eran imposibles: 1) *emociones de auto consciencia* (self-conscious emotions) como vergüenza (embarrassment), empatía y envidia y 2) *emociones de auto consciencia evaluativa* (self-conscious evaluative emotions) como orgullo, vergüenza (shame), culpa, satisfacción/competencia. A su vez estas emociones serán la base de nuevas intenciones, ya que los humanos generalmente actuamos para evitar la vergüenza o la culpa y preferimos otras como el orgullo

3.3. Desarrollo emocional del infante

Michael Lewis, en su teoría del desarrollo de la intencionalidad, considera la cognición y la emoción no solo como inseparables, sino como interdependientes. Esta visión está en sintonía con las teorías más recientes sobre el desarrollo emocional y cognitivo que consideran que cualquier cambio en el sistema afectivo tendrá efecto en el sistema cognitivo, y viceversa. Una de las teorías mejor articuladas respecto al desarrollo emocional en la infancia temprana, con un enfoque neo-Piagetiano compatible con el resto de este trabajo, es la presentada por Case et al. (1988).

Case construye su teoría sobre la hipótesis de que la cognición y la emoción son producto de dos sistemas diferentes, pero interdependientes. Cualquier cambio en uno de los sistemas tendrá un efecto simultaneo o subsecuente en el otro. Otra de las hipótesis en el modelo teórico de Case es que la llegada a una nueva etapa de desarrollo cognitivo tiene efectos en el tipo de emociones que el infante puede experimentar, en el tipo de situaciones en las que estas emociones se pueden expresar, y en la naturaleza de las estructuras de control desarrolladas para lidiar con las nuevas situaciones y/o las emociones que éstas desencadenan. Recíprocamente, la exposición a ciertos contextos emocionales tiene una influencia en el sistema cognitivo; en particular el contexto emocional puede influir en el tiempo que el niño se involucra en actividad epistémica; en el tipo de actividad epistémica en la que se involucra; y finalmente en la eficiencia de sus procesos cognitivos básicos.

Consistentemente con la visión de Piaget, Case distingue dos estructuras cognitivas primigenias: *esquemas figurativos* y *esquemas operacionales*. Los esquemas figurativos representan patrones recurrentes de estímulos, mientras que los esquemas operacionales

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

representan operaciones que se ejecutan en presencia de un conjunto de esquemas figurativos. Desde el nacimiento, el infante experimenta la activación de cualquier esquema con una carga afectiva, ya sea positiva, negativa o neutral. Otra premisa de la teoría de Case es que desde el nacimiento el niño es capaz de controlar, al menos en cierto grado, su experiencia emocional y cognitiva. Esto último está en conformidad con la premisa de Lewis quien considera que nuestro comportamiento es intencional desde el nacimiento. Más aún, este control, propone Case, es posible gracias a secuencias temporalmente organizadas de esquemas figurativos y operacionales que pueden ser divididos en tres componentes: (i) esquemas que representan algún estado particular en el cual el infante se encuentra recurrentemente, (ii) esquemas que representan algún estado de valor afectivo mayor, y (iii) esquemas que representan la secuencia de operaciones que permiten ir de uno de estos estados a el otro. Es importante resaltar que esta forma de dividir la actividad mental del niño es única al modelo de Case y se deriva del trabajo de Newell et al. (1958).

3.3.1. Sistema emocional

Desde el punto de vista biológico, la emoción es un mecanismo producto de la historia evolutiva de una especie, cuya función es asegurar una reacción apropiada e inmediata a situaciones que comprometen la supervivencia del organismo, o para asegurar la reproducción del mismo Case et al. (1988); como cuando un organismo se enfrenta a una situación que amenaza su vida, este experimenta un sentimiento de miedo cuya función es movilizarlo a reaccionar inmediatamente para emprender la huida y alejarse de la situación amenazante. Algo similar sucede con emociones menos intensas como el interés, cuya función es mantener al organismo enganchado en una actividad productiva como la exploración o experimentación. Por otro lado, el comportamiento promovido por una emoción, puede ser abandonado en favor de otro comportamiento asociado a una emoción de mayor importancia para la supervivencia; es así que, por ejemplo, el comportamiento asociado a un estado emocional de interés será abandonado en caso de que el organismo experimente una emoción de miedo.

Históricamente la emoción ha sido analizada desde dos ópticas distintas: como una entidad reducible a otros fenómenos, o bien, como un ente distinto. En el primer caso, por ejemplo, la emoción de tristeza se trata como retroalimentación del acto motriz de llorar; aunada a una interpretación cognitiva del evento desencadenador (James, 1983). En el segundo caso, aunque no se niega que la emoción conlleva retroalimentación motriz, un alto grado de activación del organismo y una interpretación cognitiva, se defiende la idea de que la emoción no se puede reducir solo a estos aspectos, sino que tiene origen en un sistema neurológico distintivo (Case et al., 1988). En su modelo de la emoción, Case adopta el último enfoque que es el que adoptaremos en este trabajo.

3.3.2. Subsistemas del sistema emocional

De acuerdo a Case, los diferentes tipos de emociones son controlados por subsistemas del sistema emocional. En un nivel general, las emociones se pueden distinguir en positivas y negativas. Dentro de estas categorías se puede hacer una distinción aún más refinada. Dentro de las positivas se puede distinguir entre interés y alegría, y dentro de las negativas se puede distinguir entre tristeza, enojo y miedo.

Case describe la relación entre los distintos subsistemas emocionales de las siguientes forma:

- Las emociones pueden ser compatibles o incompatibles
- Los componentes motrices de emociones compatibles pueden ser combinados. Por lo tanto, la experimentación o activación simultánea de emociones resulta en una mezcla de comportamientos. Esta mezcla se puede ver reflejada tanto en la forma de expresar la emoción como en las metas perseguidas.
- Los componentes motrices de emociones incompatibles no pueden ser combinados; tales expresiones tienden a interferir activamente tanto en la expresión de la emoción como en las acciones de las metas asociadas.
- Cuando dos emociones incompatibles son activadas, generalmente una predomina sobre la otra e inhibe su expresión.
- Durante el periodo en el que la emoción menos dominante se encuentra inhibida puede permanecer en un estado activo y contribuir a un estado alterado de activación general (*arousal*) y continuar influyendo en el desempeño del organismo sutilmente.
- En cualquier momento del conflicto emocional, si la emoción dominante comienza a menguar, la emoción inhibida puede imponerse e inhibir la emoción anteriormente dominante, provocando un cambio repentino tanto en el estado de ánimo como en la expresión afectiva.

3.3.3. Mecanismos de control

De acuerdo a Case, la respuesta natural a una experiencia emocional es actuar sobre la situación externa que la provocó. Este mecanismo de respuesta consiste en: (1) volcar la atención hacia el aspecto de la situación que provoca la emoción, (2) desplegar una postura y expresiones faciales para indicar el estado emocional interno, y (3) la experimentación de un cambio en el nivel general de activación (*arousal*), y cierto empuje hacia una nueva forma de acción. Case argumenta también que al ocurrir los tres eventos anteriores, las metas del organismo también se modifican intentando eliminar el aspecto que le provoca malestar (si la emoción es negativa) o preservar y modular

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

el aspecto que encuentra placentero (si la emoción es positiva). Case denomina a los mecanismos que subyacen al comportamiento anterior *estructuras externas de control*, y argumenta que dichas estructuras varían para cada emoción, y no proporciona más detalles al respecto.

Case describe otro mecanismo para lidiar con situaciones emocionales al que denomina *estructuras internas de control*. Él sugiere que un organismo recurre a mecanismos de control interno cuando no es posible lidiar externamente de forma satisfactoria con la situación que provoca la emoción, y la situación se vuelve intolerable para el organismo. Case observa dos subclases de estructuras de control interno: *estructuras de distorsión de la realidad* y *estructuras de preservación de la realidad*. Las *estructuras de distorsión de la realidad* alteran de algún modo la percepción interna o externa de la situación intolerable induciendo una emoción apropiada para la situación distorsionada en vez de la apropiada para la situación real. Un ejemplo de una estructura de este tipo es la negación, normalmente encontrada en casos patológicos. En contraste, *las estructuras de preservación de la realidad* alteran la respuesta emocional del organismo sin distorsión de la percepción. En general, estos mecanismos logran su cometido dirigiendo la atención a un aspecto diferente de la situación que le provoca malestar e involucrando al organismo en otro tipo de actividad. Como resultado, el organismo experimenta una emoción más positiva que atenúa o inhibe la emoción negativa. Un ejemplo de esta estructura de control en un niño es la acción de chuparse el dedo para confortarse; en un adulto distraerse o “mantenerse activo”.

Finalmente, Case enfatiza que tanto las estructuras de control internas como las externas son moldeadas por factores de maduración biológica y aspectos sociales.

3.3.4. Emociones innatas

Si bien es cierto que no hay un consenso sobre cuáles emociones podrían considerarse como innatas, en el modelo de Case, solo dos pares contrastantes de emociones son consideradas innatas: el primer par lo conforman los estados emocionales de *contentment* y *distress*; y el segundo los estados emocionales de *sensory engagement* (precursor del interés y asombro) y *sensory disengagement* (precursor del aburrimiento y la aversión). De acuerdo a Case, las emociones subsecuentes se desarrollan gradualmente a partir de los estados afectivos innatos, por medio de un proceso que incluye cambios perceptuales y cognitivos. A su vez, las emociones innatas o básicas tienen asociadas estructuras de control elementales. Por ejemplo, la tendencia innata a preservar un estímulo placentero en el modelo clásico de Piaget. Dicho de otra forma, los niños nacen con la capacidad detectar ciertas características de su ambiente, las cuales activan una respuesta afectiva innata que el infante es capaz de controlar o modular de una forma primitiva (estructuras de control). Al parecer, Case coincide con Lewis en que los niños nacen con la capacidad de actuar activamente en el mundo, aunque en una forma limitada; es decir, que los niños nacen con intenciones primitivas.

Es a partir de estas estructuras de control afectivo-cognitivas que todas las estructuras de control subsecuentes son ensambladas.

3.3.5. Interdependencia del sistema emocional y cognitivo

En su análisis del sistema emocional Case coincide con Lewis en que el sistema emocional y cognitivo son interdependientes. Así mismo, Case asume que la emoción puede ser provocada no solamente por estímulos perceptuales externos, sino que, también, esta puede ser provocada simplemente por un pensamiento particular; y además, que el estado cognitivo, casi siempre, juega un papel en la modulación de la emoción que se experimenta. De lo anterior se sigue que a un cambio general en el desarrollo cognitivo hay un cambio asociado en la respuesta afectiva del organismo. Case apunta que un cambio en el nivel de desarrollo cognitivo provoca: diversificación de las emociones, diversificación de situaciones en las que el infante puede experimentar emociones, y cambios en los mecanismos de control para lidiar con dichas emociones.

La diversificación de emociones, según Case, está relacionado al desarrollo de las estructuras de control. Entre el primer y cuarto mes el infante gradualmente desarrolla sus primeras estructuras de control para preservar y modular los estímulos placenteros, o bien, para evitar o reducir la intensidad de los estímulos desagradables. Una estructura común a esa edad es la de modulación de la interacción cara a cara con su cuidador, en particular, para controlar la proximidad del rostro de la madre y su expresión afectiva. El desarrollo de las estructuras de control conlleva una sofisticación en las capacidades representacionales del infante así como en las habilidades motrices. La sofisticación de las capacidades representacionales incluye a la representación de los resultados de sus acciones, y en consecuencia las metas que puede perseguir. Es debido a que el infante comienza a hacerse hábil en controlar la situación que las metas comienzan a tomar el estatus de expectativas. Para Case, las emociones como la rabia (*rage*), el miedo y el júbilo (*joy*) dependen en gran medida de las primeras estructuras de control y de sus expectativas asociadas. De este modo, por ejemplo, la emoción innata de angustia (*distress*) se convierte en rabia (*rage*) cuando alguna situación impide al infante obtener un resultado placentero que desea y tiene la expectativa de obtener debido a su pericia en una situación así. Similarmente la emoción de *joy*, se podría explicar como derivada de la emoción innata de *contentment*, cuando el infante cumple una meta que desea pero de la cual tiene pocas expectativas de lograr. Con la misma lógica, Case plantea que en principio debería ser posible desarrollar un modelo de las representaciones internas necesarias para experimentar cualquier emoción humana.

Resulta de especial importancia para este trabajo la influencia que las emociones tienen en las metas del infante. De acuerdo a Case, un cambio en el estado emocional del niño provoca, en primer lugar, una alteración de su meta actual del organismo en respuesta al nuevo estado emocional (Case et al., 1988; Simon, 1967); y en segundo lugar, altera el curso de su pensamiento, de modo que los pensamientos subsecuentes en gran parte

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

estarán relacionados al nuevo estado emocional.

Por otro lado, la diversificación de situaciones en las que el infante puede experimentar emociones depende también del desarrollo cognitivo. Debido a las limitaciones sensoriomotrices en los primeros meses las situaciones en las que el infante puede participar son muy restringidas, la mayor parte del tiempo son interacciones con su cuidador. La adquisición de nuevas habilidades sensoriomotrices conllevan una expansión en el tipo de situaciones en las que se puede involucrar. De este modo, por ejemplo, cuando el infante es capaz de interactuar de forma más efectiva con los objetos, la producción de efectos interesantes o inesperados en éstos cuando los golpea, agita o empuja, le provocarán alegría.

Más aún, Case identifica cambios en los mecanismos de control impulsados por el desarrollo cognitivo. Como ya se mencionó anteriormente, en su modelo, el infante cuenta con dos tipos de mecanismos de control, las estructuras de control interno y las de control externo. Con el desarrollo cognitivo, el infante se vuelve cada vez más hábil en modular y mantener los estímulos positivos y en evitar o disminuir el efecto de los estímulos negativos. Con la diversificación de las situaciones en las que el infante se puede involucrar, éste debe aprender a controlar externamente el aspecto emocional, en el que cada vez es mayor la importancia de los aspectos socioculturales. Asimismo propone que, las estructuras de control interno también están restringidas por la etapa de desarrollo cognitivo, por lo cual, el desarrollo cognitivo permite el desarrollo de los mecanismos internos de control. Del análisis que hace Case de los mecanismos internos de control en las diferentes etapas de desarrollo, es de particular importancia para este trabajo el relativo a la etapa sensoriomotora. En la etapa sensoriomotora Case identifica como estructura primitiva de control interno la de sustitución (*displacement*), la cual requiere de la habilidad de redirigir la atención de un objeto que causa dos emociones conflictivas (por ejemplo, miedo y rabia) hacia otro que sea menos temible. Como el nuevo objeto le provoca menos miedo, el nuevo objeto sería el objeto de agresión, ya que el efecto inhibitor del miedo menguaría y la emoción de rabia se impondría.

Recíprocamente, en el modelo presentado por Case se asume una influencia del sistema emocional sobre el cognitivo. En su modelo, la velocidad de desarrollo, y en última instancia el nivel de desarrollo cognitivo alcanzado, es controlado por actividades epistémicas generales como la exploración, la solución de problemas, la imitación y la regulación mutua. La hipótesis de Case es que los niños no se involucran en este tipo de actividades automáticamente, sino que se involucran porque en su entorno las experimentan como actividades que los mueven de un estado afectivo a otro de mayor intensidad afectiva. Debido a lo anterior, Case sugiere que cualquier factor que afecte el sustrato emocional del cual dependa la actividad epistémica, potencialmente afecta el curso del desarrollo subsecuente del infante. A este respecto él identifica tres papeles que juega la emoción en el desarrollo cognitivo. El primero de ellos se refiere a la motivación. En consonancia con la teoría de Piaget y la teoría de Lewis, en el modelo de Case la emoción incrementa o decrementa la motivación natural del infante a involucrarse en actividad epistémica. Case explica que contextos que retrasan o dificultan el desarrollo

de las primeras estructuras de control, y por lo tanto el desarrollo de emociones básicas, pueden comprometer el correcto desarrollo cognitivo del infante. Por ejemplo, en casos donde la madre está ausente se ha observado que los niños muestran una profunda apatía y con frecuencia caminan o hablan al rededor de los 4 años. Este retraso se puede ver como una consecuencia indirecta de no haberse involucrado en suficiente actividad epistémica debido a la ausencia de una recompensa emocional para hacerlo. Por otro lado, las emociones negativas como la tristeza deprimen el organismo del infante en vez de energizarlo, lo cual reduce drásticamente la cantidad de tiempo que se involucra en actividad epistémica, y en consecuencia se reduce su ritmo de desarrollo intelectual.

Capítulo 4

Antecedentes: El agente Jacques y el modelo *Dev E-R*

En este capítulo se describen los antecedentes tecnológicos en los que se basa el presente trabajo. En primer lugar se describen a grandes rasgos las características y el funcionamiento del agente Jacques propuesto inicialmente por Aguilar (2015) para estudiar el desarrollo de la inteligencia sensoriomotora en las primeras etapas de la infancia desde un enfoque de la Creatividad Computacional. Jacques es el antecesor del agente Jacub desarrollado para este trabajo de investigación, el cual se detalla en el capítulo 5. Así mismo, en este capítulo se describe el modelo *Dev E-R* (*Developmental Engagement-Reflection*). *Dev E-R* simula los procesos de asimilación y acomodación propuestos por Piaget (ver capítulo 3) los cuales, de acuerdo a él, son los responsables del desarrollo intelectual en las primeras etapas de desarrollo. *Dev E-R* es el motor de desarrollo cognitivo que le permite al agente Jacques usar y construir conocimiento sensorio-motor.

4.1. Jacques

Jacques es un personaje virtual que tiene la apariencia de un “robot bebé”. Tiene una cabeza, dos ojos, dos brazos, dos manos, dos piernas con pies y un torso (ver figura 4.1). Gracias a su cuerpo, Jacques puede realizar una serie de acciones que le permiten interactuar con su mundo. Todos los módulos que conforman la arquitectura cognitiva de Jacques están programados con Java. El despliegue del mundo virtual y del agente mismo se hacen mediante el software SweetHome3D. Es importante resaltar que Jacques ha tenido dos versiones. La primer versión del agente fue presentada por Aguilar (2015) como tesis de Doctorado, mientras que la segunda versión la presentó Sánchez (2017) como tesis de Maestría bajo un nuevo nombre: PiaDev. En esta sección

4. ANTECEDENTES: EL AGENTE JACQUES Y EL MODELO *DEV E-R*

se detallan las características cognitivas del agente englobando las dos versiones bajo el nombre original de Jacques, haciéndose la diferenciación entre las versiones cuando sea necesario.



Figura 4.1: Jacques y su mundo virtual (izquierda), perspectiva del agente (derecha)

En resumen, las características cognitivas de Jacques son:

1. **Puede ver y tocar su mundo:** Jacques cuenta con una cámara virtual ubicada en su ojo derecho, la cual usa para “ver” su entorno. Jacques divide su campo visual en nueve zonas (ver figura 4.2) y es capaz de determinar en qué zona se encuentra visualmente cada objeto a partir de su centroide. Jacques cuenta también con un sensor virtual de tacto ubicado en la palma de su mano derecha, el cual le permite identificar la presencia y la textura de los objetos que entran en contacto con su mano. Asimismo, puede saber si su mano está abierta o cerrada.

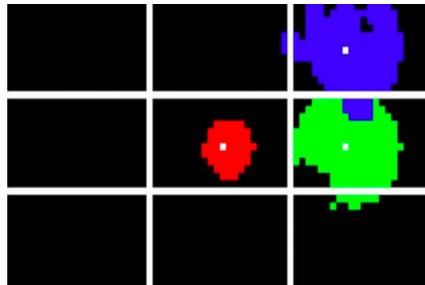


Figura 4.2: Tres objetos de distinto color localizados en distintas zonas del campo de visión de Jacques

Por simplicidad de diseño, Jacques sólo puede ver con un ojo y usar su mano derecha (Aguilar, 2015)

2. **Simula un proceso de atención:** Cada vez que Jacques sensa el ambiente selecciona aquel objeto que tenga el mayor “valor de interés”. Para objetos visuales, el valor de interés se calcula sumando tres valores que van de cero a uno y que

se multiplican por constantes de ponderación para cada una de las características del objeto visto. La primera característica asigna un mayor valor a los objetos en movimiento y a los objetos con colores brillantes; la segunda da prioridad a objetos con características menos vistas y la tercera da prioridad a aquellos objetos con los que tiene un vínculo emocional. Como en el caso del tacto el agente solo puede tocar un objeto a la vez, el objeto que se toca es el que se atiende.

3. **Cuenta con memoria:** El agente almacena su percepción actual del mundo en una estructura llamada contexto-actual, la cual se compone de un contexto-actual-visual y/o un contexto-actual-táctil (ver figura 4.3-a). Ambos contextos se componen de tres elementos: 1) las características del objeto de atendido; 2) las respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones que dicho elemento dispara; y 3) el contexto esperado (expectativas) después de actuar. En la figura 4.3-b) se muestra la estructura del contexto-actual-visual y contexto-actual-táctil.

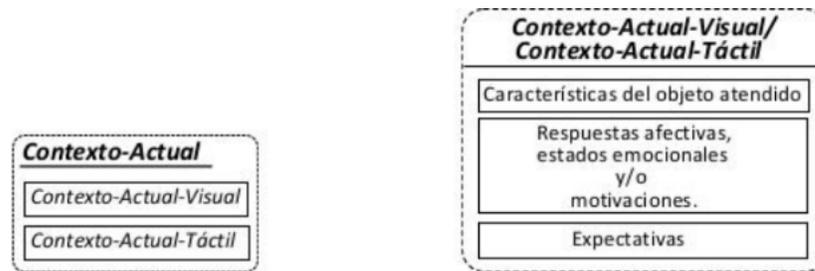


Figura 4.3: (a) Estructura del contexto-actual; (b) estructura del contexto-actual-visual y del contexto-actual-táctil.

En su primera versión, Jacques solo era capaz de recordar el último contexto creado, las acciones realizadas en tal contexto, así como el resultado obtenido de dichas acciones (contexto resultante). La información de su pasado inmediato constituye la memoria de trabajo del agente.

Por otro lado, Jacques es capaz de recordar a largo plazo cómo actuó en situaciones pasadas; este conocimiento se almacena como esquemas sensoriomotores. De esta forma, los esquemas sensoriomotores constituyen la base de conocimiento del agente.

Los esquemas sensoriomotores son estructuras inspiradas en las ideas de Piaget. Estas estructuras almacenan las percepciones y acciones asociadas a dichas percepciones, que en conjunto, determinan los comportamientos habituales o repetitivos en los infantes (Guerin, 2011). Es así que se definen dos tipos de esquemas: básicos y desarrollados.

Los esquemas básicos representan tendencias y comportamientos innatos obser-

vados por Piaget en los bebés. Por ejemplo, el comportamiento reflejo de cerrar la mano cuando un objeto entra en contacto con ésta o la tendencia a preservar estímulos visuales placenteros. Los esquemas básicos están compuestos únicamente de un contexto y de las acciones asociadas a éste contexto (ver figura 4.4).

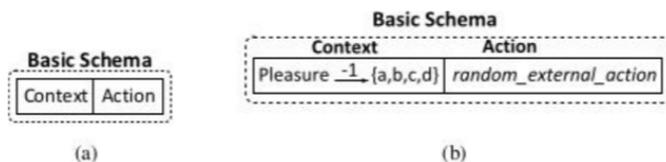


Figura 4.4: (a) La estructura de los esquemas básicos; (b) un ejemplo de un esquema básico que representa el comportamiento de tanteo (acción aleatoria) cuando se ha perdido un objeto de interés, en cualquier área del campo de visión, sin importar el color o tamaño tamaño del objeto, o si está estático o en movimiento.

Los contextos de los esquemas son similares a los contextos actuales, con la diferencia de que los contextos de los esquemas solo contemplan al objeto atendido y que algunas variables (características) pueden no estar instanciadas. Si todas las variables del contexto de un esquema están instanciadas, se dice que es un esquema concreto o de tipo T_0 , en otro caso es un esquema abstracto o de tipo T_n , donde n es el número de variables no instanciadas.

Los esquemas desarrollados se construyen conforme el agente interactúa con el ambiente y representan comportamientos aprendidos. Los esquemas desarrollados están compuestos de: 1) un contexto, 2) acciones asociadas al contexto y 3) un contexto esperado al ejecutar las acciones. Adicionalmente, tienen un conjunto de contextos en los que se cumplieron dichas expectativas y un conjunto de contextos en los que no se cumplieron. Al primer conjunto se le denomina “*Contexts Expectations Fulfilled*” y al segundo conjunto “*Contexts Expectations NOT Fulfilled*” (ver figura 4.5).

Se denominan esquemas visuales a aquellos esquemas que solo hacen referencia a objetos visuales y esquemas táctiles a aquellos esquemas que solo hacen referencia a objetos táctiles. A los esquemas que hacen referencia a ambos tipos de objetos se les denomina esquemas tacto-visuales.

4. **Simula un sistema afectivo:** El agente simula diferentes respuestas afectivas: +2 para el nivel más alto de agrado, +1 para el agrado y -1 para el desagrado. De manera predefinida se ha establecido +1 si hay un objeto luminoso dentro de su campo de visión y +2 si el objeto luminoso se encuentra en su centro. De igual, manera se ha definido que todos los objetos que el agente toca con la mano abierta generen una respuesta de agrado con intensidad +1 y +2 si lo toca con la mano cerrada. Si el agente está atendiendo un objeto de su interés y este objeto deja de ser percibido, entonces esto le genera una repuesta afectiva de *displacer*

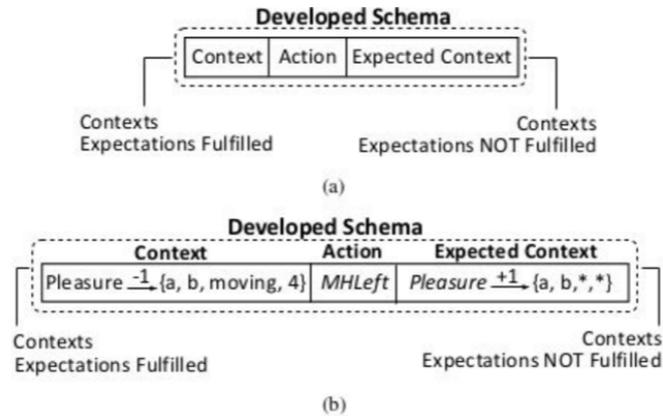


Figura 4.5: (a) La estructura de los esquemas desarrollados; (b) ejemplo de un esquema desarrollado que representa la expectativa de recuperar visualmente, con un movimiento de cabeza a la izquierda (*MHLeft*), un objeto en movimiento, de cualquier color y tamaño, que salió por el sector 4 del campo de visión.

con intensidad -1 .

Adicionalmente, el agente simula tres estados emocionales: interés, sorpresa y aburrimiento, representados como variables booleanas. El estado emocional de interés, se activa a consecuencia de la ejecución de una acción interna llamada “*showInterestIn A*”. El estado emocional de sorpresa se activa cuando el agente deja de percibir un objeto de interés y al realizar una acción aleatoria recupera la percepción de dicho objeto. El estado emocional de aburrimiento se activa cuando el agente percibe los mismos objetos con las mismas características un número predeterminado de veces consecutivas.

Finalmente, el agente simula una motivación intrínseca llamada curiosidad cognitiva, que se activa cuando no se cumple alguna de sus expectativas al ejecutar un esquema.

5. **Simula un proceso de adaptación cognitiva:** Mediante el modelo *Dev E-R*, el agente simula los procesos de asimilación-acomodación-equilibración cognitiva descritos por Piaget. El modelo *Dev E-R* se detalla en la siguiente sección.

Las características cognitivas descritas anteriormente hacen de Jacques un agente que es capaz de desarrollarse cognitivamente. Es decir, a partir de las estructuras de conocimiento básicas que representan conductas innatas características de la primera subetapa del periodo sensoriomotor y adaptándose a su ambiente mientras interactúa con él, Jacques es capaz de desarrollar nuevos comportamientos característicos de las siguientes subetapas del periodo sensoriomotor. El desarrollo cognitivo del agente se detalla en la sección 4.3.

4.2. Dev E-R: *The developmental engagement reflection model*

Dev E-R es un modelo computacional que, inspirado en la teoría de Piaget, simula los procesos de asimilación-acomodación-equilibración implementados con una versión extendida del modelo computacional del proceso creativo Engagement-Reection (Pérez and Sharples, 2001). Este modelo representa el motor de desarrollo cognitivo del agente Jacques. *Dev E-R* permite a Jacques usar y construir conocimiento sobre su entorno y cómo interactuar con él de forma correcta. El conocimiento del agente se representa como esquemas sensoriomotores. *Dev E-R* tiene dos formas de construir nuevo conocimiento: de forma automática a través del proceso de *Engagement* o de forma analítica a través del proceso de *Reflection*.

4.2.0.1. Funcionamiento general

Dev E-R selecciona de la base de conocimiento un esquema cuyo contexto coincida con el contexto-actual. En la selección de esquemas se da prioridad a los esquemas desarrollados sobre los esquemas básicos. De los esquemas desarrollados se da preferencia a aquél con un mayor número de situaciones en las que se cumplieron las expectativas y con el que se espera recibir mayor placer. Una vez seleccionado un esquema se ejecuta su acción asociada y en caso de ser un esquema desarrollado se registran las expectativas y el ciclo continúa. Si el contexto-actual no coincide con el contexto de ningún esquema, entonces se declara una situación de *impasse*, lo cual le indica a *Dev E-R* que se debe realizar una adaptación (modificación) de la base de conocimiento, ya sea por asimilación o por acomodación.

4.2.0.2. Simulación del proceso de acomodación

De acuerdo a Piaget, la acomodación se refiere al proceso por medio del cual el infante modifica un esquema existente o forma uno completamente nuevo para lidiar con un nuevo objeto o situación. En *Dev E-R* este proceso de acomodación está modelado como un proceso de generalización y diferenciación:

1. La diferenciación consiste en la construcción de esquemas más específicos a partir de un esquema que se ha identificado como demasiado general; ya que esta generalidad ocasiona que al aplicarse a una situación particular las expectativas del agente no se cumplan la mayoría de las veces.
2. La generalización ocurre en dos situaciones: 1) cuando el agente recupera por accidente un objeto de interés y generaliza esa única experiencia en un esquema

abstracto, y 2) cuando detecta que un esquema específico puede aplicarse en diversas situaciones, esto se refleja en el reemplazo del esquema concreto por uno más general y abstracto que puede ser usado en diversos contextos.

Primeras generalizaciones: Creación de esquemas tipo T_n

Jacques crea sus primeros esquemas cuando accidentalmente recupera un objeto de su interés. Esta experiencia basta para que la generalice en un esquema con la expectativa de recuperar cualquier otro objeto con la misma acción.

Primeras diferenciaciones: Creación de esquemas tipo T_0

Cada vez que se ejecuta un esquema desarrollado en una situación particular, se registra si las expectativas se han cumplido o no. Si las expectativas no se han cumplido se activa el estado de curiosidad cognitiva, el cual indica a *Dev E-R* que dicho esquema necesita ser modificado. El criterio para decidir si un esquema debe ser modificado es que el esquema se haya usado un número mínimo de veces (p. ej. 50) y que del total de las veces que se ha usado, las expectativas no se hayan cumplido un porcentaje de veces (p. ej. 30 %). Si se satisfacen las condiciones anteriores se realiza una diferenciación del esquema; tal diferenciación consiste en la creación de un esquema por cada objeto del cual se tenía la expectativa de recuperar en un cierto número de ocasiones (p. ej. 10), y que de éstas lo haya recuperado un porcentaje de veces (p. ej. 80 %). Los esquemas resultantes de esta diferenciación serán concretos o lo que es lo mismo, de tipo T_0 y reciben la experiencia registrada del esquema original.

Generalizaciones intermedias: Creación de esquemas tipo $T_{n-1} \cdots T_1$

Las generalizaciones y diferenciaciones continúan hasta que se han creado un número determinado de esquemas de tipo T_0 con la misma acción y respuesta afectiva asociada. En ese momento se realiza nuevamente un proceso de acomodación en el que se generalizan las experiencias registradas en los esquemas particulares.

Al final del proceso de generalización, se transfieren las experiencias registradas de los esquemas particulares al esquema general.

Diferenciaciones intermedias: Creación de esquemas tipo $T_{n-2} \cdots T_0$

En caso de que para un esquema no se cumplan las expectativas un determinado porcentaje de veces (p. ej. 50 %), entonces se realiza un proceso de acomodación. En este caso se transforman los esquemas de tipo T_m en esquemas de tipo T_{m-1} . Si un esquema requiere ser acomodado:

1. Se seleccionan todos los objetos que el agente haya tenido la expectativa de recuperar por lo menos N_{Trials} ocasiones y que en efecto las haya recuperado en un $P_{succesObj}$ % de las veces.
2. De la selección de esquemas se agrupa por color y por posición, es decir, por cada característica no instanciada.
3. Se eliminan los grupos que tengan menos de N_{Trials} objetos.
4. Por cada característica representativa de los grupos restantes, se crea una nueva estructura que indique cómo recuperar esos objetos en particular.
5. Se transfiere la experiencia a los nuevos esquemas particulares.
6. Si el porcentaje de éxito es mayor a $P_{SuccesNew}$ % se conserva, en caso contrario se elimina.
7. Si el porcentaje de fracaso del esquema general, después de la transferencia de la experiencia es mayor a $P_{DeleteT_3T_2}$ %, entonces se elimina. Pero antes de eso se diferencia en esquemas de tipo T_0 . Si alguno de estos nuevos esquemas supera el porcentaje de falla $P_{DeleteT_0}$ %, y se tiene al menos N_{UsedT_0} objetos asimilados, entonces se elimina.

De esta manera, los esquemas se van creando, generalizando, diferenciando y eliminando conforme el agente se enfrenta a situaciones desconocidas o situaciones de conflicto cognitivo.

4.2.0.3. Simulación del equilibrio cognitivo

Se considera que el agente está en equilibrio cognitivo cuando logra interactuar con su mundo durante N_C ciclos consecutivos sin modificar su base de conocimiento debido a que sus expectativas se cumplieron por lo menos en el $P_{Success}$ % de las veces. Es entonces que los esquemas que ha construido hasta el momento se consideran estabilizados. Es decir, son esquemas que durante cierto tiempo ya no han sufrido ninguna modificación.

4.2.0.4. Simulación del proceso de asimilación

La asimilación se refiere al proceso de responder a nuevas situaciones en concordancia con lo ya conocido y recuperable de la memoria (Guerin, 2011). *Dev E-R* simula el proceso de asimilación mediante dos modos de funcionamiento: *Engagement* y *Reflection*. En modo *Engagement* *Dev E-R* simula el proceso de asimilación a través de la búsqueda y recuperación de esquemas que representen situaciones similares a la descrita en

el contexto-actual. De esta manera, permite al agente adaptarse a nuevas situaciones haciendo uso del conocimiento adquirido en experiencias anteriores. Inicialmente, para que un esquema sea candidato a seleccionarse su contexto debe corresponder exactamente con el contexto-actual. Sin embargo, una vez que existen esquemas estabilizados en su base de conocimiento se puede permitir que haya correspondencias parciales. El mecanismo de asimilación de *Dev E-R* mediante el siguiente proceso:

1. Decide aleatoriamente si permitirá correspondencias parciales o correspondencias totales.
2. Busca en la base de conocimiento de acuerdo al criterio establecido en el paso 1. Las correspondencias parciales pueden darse de dos maneras. 1) Si el contexto-actual está compuesto de una sola respuesta afectiva entonces se permite que alguno de los elementos de éste difiera en un solo aspecto del contexto asociado a un esquema. Puede diferir en el tipo, valencia o intensidad de la respuesta afectiva; o en el color, tamaño, movimiento, posición dentro del campo de visión, o en la textura o estado de la mano. 2) si el contexto-actual está compuesto de más de una respuesta afectiva entonces se permite que cada una de ellas se haga corresponder completamente con un esquema diferente, o incluso que una de ellas se quede sin correspondencia.

Es importante enfatizar que las correspondencias parciales solo se realizan con los esquemas básicos y con los esquemas desarrollados estabilizados.

En el caso de la correspondencia exacta, se seleccionan solo los esquemas cuyo contexto corresponda exactamente con el contexto-actual. Es decir, todas las variables del contexto del esquema deben tener los mismos valores que en el contexto actual, o bien ser una variable no instanciada (general). Además las respuestas afectivas deben ser las mismas, con la misma intensidad y valencia.

3. Si en modo *Engagement* no pudo encontrar ninguna correspondencia pasa a modo de *Reflection*. En la versión actual del modelo en modo *Reflection* solo puede ejecutar una acción física aleatoria para solucionar una situación de *impasse*, es decir una situación en la que el agente no tiene en su base de conocimiento ninguna esquema que le permita hacer frente a la situación actual.
4. Si encontró más de un esquema para la situación actual asigna una mayor probabilidad de ser elegido a aquellos que tengan el mayor porcentaje de expectativas cumplidas y mayor placer esperado y dando prioridad a los esquemas que se estabilizaron durante el último equilibrio cognitivo. De esta forma se asegura la selección de los comportamientos más complejos sobre los más simples.
5. Ejecuta las acciones asociadas al esquema seleccionado, el agente sensa nuevamente el mundo para actualizar el contexto-actual y el ciclo se repite.

Si el esquema seleccionado por *Engagement* es un esquema resultado de una correspondencia parcial y al ejecutarlo las expectativas se cumplen, entonces *Dev E-R* construye

un nuevo esquema que representa la manera en que el agente enfrentó con éxito la nueva situación. Con la creación de nuevos esquemas la base de conocimiento del agente vuelve a sufrir acomodaciones, provocando nuevamente un estado de desequilibrio cognitivo. El agente permanece en este estado hasta que los nuevos esquemas se estabilicen, pasando así nuevamente a un estado de equilibrio cognitivo. De esta forma, al oscilar entre estados de equilibrio y desequilibrio cognitivo se simula el proceso de adaptación propuesto por Piaget.

4.3. Desarrollo cognitivo en el agente Jacques

Las respuestas afectivas, las emociones, la curiosidad cognitiva, junto a los mecanismos de asimilación-equilibración-acomodación simulados por *Dev E-R* son los que empujarán al agente a desarrollarse cognitivamente.

En la primer versión, Jacques se inicializó con los esquemas básicos que se muestran en la figura 4.6.

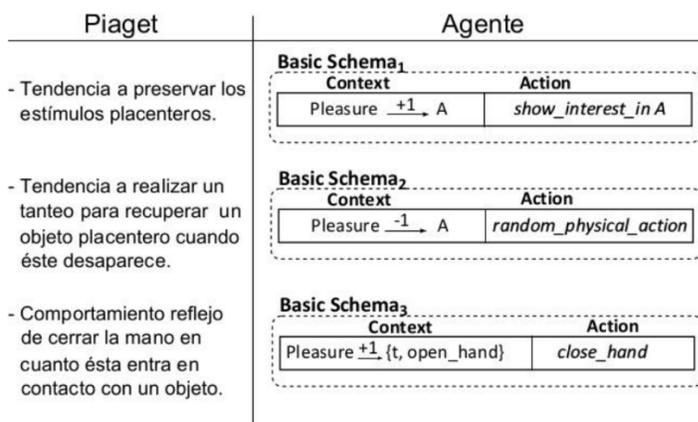


Figura 4.6: Esquemas básicos con los que inicia el agente en el segundo experimento

Estos esquemas representan los comportamientos y tendencias innatas en humanos. Por ejemplo, el tercer esquema representa el comportamiento reflejo de cerrar la mano cuando algo placentero entra en contacto con ella.

Con estos esquemas básicos el agente se sometió a tres experimentos, los cuales se realizaron en diferentes escenografías virtuales; como por ejemplo, la sala de una casa

en la que hay pelotas de distintos colores que a veces están estáticas y a veces se mueven en trayectorias predeterminadas.

El primer experimento consistió en desactivar la capacidad de palpar, permitiéndole solamente ver, de modo que el agente sólo es capaz de generar contextos visuales. En este experimento el agente se inicializó con los esquemas básicos que se muestran en la figura 4.7.

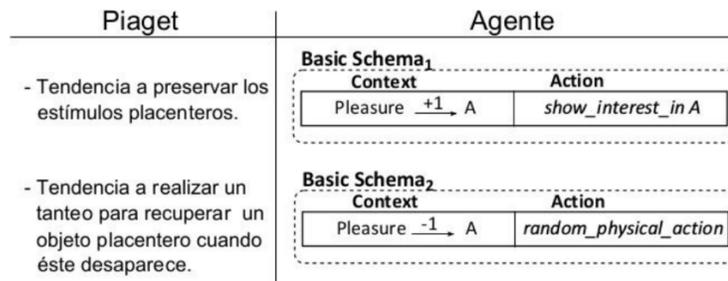


Figura 4.7: Esquemas básicos con los que inicia el agente en el primer experimento

El resultado de este experimento fue que el agente desarrolló nuevos comportamientos como la preservación de un estímulo visual placentero o la recuperación visual de un objeto de interés con un movimiento de la cabeza, cuando éste salía de su campo de visión.

En un segundo experimento se desactivó la capacidad de ver del agente, permitiéndole solamente palpar su entorno, de modo que solo fuera capaz de generar contextos táctiles. En este experimento el agente se inicializó con los esquemas básicos que se muestran en la figura 4.8.

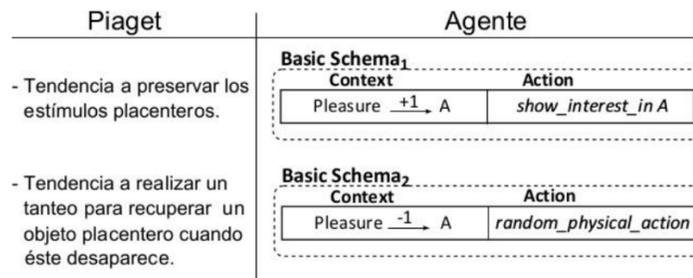


Figura 4.8: Esquemas básicos con los que inicia el agente en el segundo experimento

El resultado de este experimento fue que el agente desarrolló nuevos comportamientos como la preservación de un estímulo placentero manteniendo la mano cerrada o la

recuperación de un objeto perdido después de haber abierto la mano volviéndola a cerrar.

En un tercer experimento, se permitió que el agente pudiera tanto ver como tocar su mundo. En este caso, surgieron los siguientes comportamientos relacionados con la coordinación de la visión y el tacto:

- Seguir visualmente el movimiento de su mano, con movimientos de su cabeza.
- Centrar en su campo de visión (con un movimiento de su cabeza) el objeto que está sujetando con la mano.
- Ver en el centro de su campo de visión cómo su mano suelta y vuelve a tomar el objeto de interés.
- Ver salir de su campo de visión la mano con la que agarra un objeto y luego la regresarla al campo de visión con un movimiento de la cabeza.
- Ver salir de su campo de visión la mano con la que agarra un objeto y luego regresarla dentro del campo de visión con un movimiento de la mano.

4.4. PiaDev: El agente Jacques mejorado

Como tesis de Maestría, Sánchez (2017) presenta una versión mejorada del agente Jacques a la que da el nombre de PiaDev. La apariencia, características físicas y las acciones externas que puede realizar el agente en esta nueva versión son exactamente las mismas que las del agente anterior. Los cambios más significativos se dieron en las capacidades cognitivo-afectivas del agente. Dichos cambios se resumen a continuación:

- **Memoria a corto plazo incremental:** Ahora el agente puede recordar los últimos n contextos-actuales inmediatos anteriores, las acciones que realizó en dichos contextos y el contexto resultante de realizar tales acciones; en donde n es un número entero que se inicializa en 1 y que se va incrementando conforme el agente va entrando en equilibrio cognitivo, permitiéndole así recordar cada vez más eventos en su pasado inmediato (n toma a lo más el valor de 3). De esta forma se simula un proceso de madurez de la memoria a corto plazo que se ha argumentado que ocurre en las primeras etapas de desarrollo cognitivo, siendo esta madurez de la memoria un factor importante en el desarrollo de la inteligencia en las primeras etapas (Case et al., 1988, p. 8).
- **Esquemas arborescentes:** En esta nueva versión se ha dado al agente la capacidad de construir esquemas con estructura de árbol. Esta capacidad depende del incremento de la memoria a corto plazo, ya que al poder recordar los contextos, acciones y expectativas pasadas se pueden construir nuevos esquemas que consideren ese historial. La capacidad de construir nuevos esquemas en forma de árbol

le permiten al agente desarrollar comportamientos más complejos que involucran la ejecución de una secuencia de acciones (ver sección 4.6), una habilidad que no poseía en la primera versión. Debido a que ahora existe la posibilidad de esquemas arborescentes los procesos de asimilación y acomodación modelados por *Dev E-R* también requirieron ajustarse a las nuevas estructuras de conocimiento lo cual da como resultado la versión 2.0 del modelo *Dev E-R*. La versión 2.0 del modelo *Dev E-R* se detalla en la sección 4.5.

- Modificaciones al sistema afectivo:** Las respuestas afectivas y los estados emocionales que puede simular el agente son los mismos que en la versión anterior. Sin embargo, en esta versión se agregó la acción interna “changeAttention A” que cambia el interés hacia un objeto, visual o táctil, por el siguiente objeto evaluado con mayor valor de interés durante la construcción del contexto actual. Por otro lado, ahora el estado emocional de sorpresa no solamente se dispara cuando el agente recupera un objeto por accidente o cuando realiza una correspondencia parcial con algún esquema y a pesar de esto se cumplen las expectativas del agente, sino también cuando se obtiene una respuesta afectiva mayor a la descrita en la expectativa del esquema ejecutado. En cuando al estado emocional de aburrimiento, este se dispara cuando el agente percibe el mismo objeto más de N_{Bored} veces, o de manera aleatoria con una probabilidad de P_{Bored} .

4.5. Dev E-R 2.0

El modelo *Dev E-R* 2.0 es una extensión del modelo *Dev E-R* presentado en la sección 4.2. *Dev E-R* 2.0 permite la creación de esquemas en forma de árbol. La posibilidad de esquemas arborescentes, requirió la modificación de los mecanismos de asimilación-equilibración-adaptación que modela *Dev E-R*. En esta versión del modelo, los esquemas y contextos-actuales se codifican y almacenan en un formato de texto como el que se muestra en las figuras 4.9 y 4.10.

```
{
  "id":etiqueta,
  "context":contexto,
  "lAction":[lista de acciones],
}
```

Figura 4.9: Estructura general del contexto-actual , tomado de Sánchez (2017)

```
{
  "id":etiqueta,
  "equilibrated": indicador de equilibrio cognitivo,
  "context":contexto,
  "lAction":[lista de acciones],
  "expected":contexto,
  "success":[lista de contextos],
  "failure": [lista de contextos],
  "lScheme":[lista de esquemas]
}
```

Figura 4.10: Estructura general de un esquema , tomado de Sánchez (2017)

4.5.1. Acomodación

Al igual que en la versión anterior de *Dev E-R*, el proceso de acomodación se basa en generalizaciones y diferenciaciones. Ahora no solamente se somete a acomodación un esquema cuando se dispara el estado emocional de curiosidad cognitiva debido a que las expectativas no se cumplieron, sino también cuando la respuesta afectiva de agrado que se obtiene al ejecutar un esquema es mayor a la esperada, es decir, cuando se dispara un estado emocional de sorpresa. En este último caso el proceso de acomodación consiste en la creación de un nuevo esquema que representa la manera en la que el agente logró recuperar la respuesta afectiva de agrado que había perdido.

Actualización de experiencias

La actualización de experiencias en *Dev E-R 2.0* ocurre de la misma manera que en su predecesor, sólo que ahora no se actualiza la experiencia de un esquema si alguna de sus acciones no se logró completar de manera satisfactoria. Por ejemplo, si el agente intentó girar su cabeza más allá de su límite y no lo logró. Del mismo modo se adaptó la actualización de experiencias, para cuando el agente intenta realizar de manera secuencial, las acciones definidas en los esquemas que conforman la rama de un esquema de árbol. También se cambiaron los nombres de *expectationsFulfilled* y *expectationsNotFulfilled* por *success* y *failure* respectivamente.

Generalización

En la versión 2.0 de *Dev E-R* el proceso de creación de esquemas de tipo T_n debe considerar todas las situaciones pasadas almacenadas en la memoria a corto plazo. Debido a esto, la altura del esquema arborescente dependerá de la capacidad de almacenamiento de la memoria a corto plazo. Por ejemplo, si en el tiempo $t-1$ el agente, después de

haber perdido un objeto de interés, de color rojo que se movía por el área 4 de su campo de visión, lo recupera moviendo a la izquierda la mano. En el tiempo t el agente percibe y atiende el mismo objeto y luego de mover nuevamente su mano a la izquierda el objeto se encuentra en el centro de su campo de visión, es decir en el área 5; lo cual le dispara una respuesta afectiva de placer +2. Este incremento (no esperado) de placer dispara el estado emocional de sorpresa lo que le indica a *Dev E-R* que se debe hacer una acomodación, en concreto, una generalización de lo que contiene la memoria de corto plazo. El resultado de esta generalización se muestra en la figura (4.11). El nuevo esquema describe la situación en la que se deja de percibir un objeto visual de interés (sin importar color, tamaño, posición o si está en movimiento o estático) este podrá ser recuperado y puesto en el centro del campo de visión al mover dos veces la mano hacia la izquierda. Por supuesto, esto no siempre se cumplirá, pero a través del proceso de acomodación el agente descubrirá los casos en los que esto sí ocurre.

```

{
  "id": "1",
  "equilibrated": 0,
  "context": [{"V", 1, , ,}],
  "lAction": ["handLeft"],
  "expected": [{"V", 2, , ,}],
  "success": [
    [{"V", 1, "c3", "s0.07", "static", 4}], 1]
},
"failure": [],
"lScheme": [
  {
    "id": "2",
    "equilibrated": 0,
    "context": [{"V", -1, , ,}],
    "lAction": ["handLeft"],
    "expected": [{"V", 1, , ,}],
    "success": [
      [{"V", -1, "c3", "s0.07", "moving", 4}], 1]
    },
    "failure": [],
  }
]
}

```

Figura 4.11: Ejemplo de la creación de un esquema a partir de la memoria de corto plazo. Ahora el esquema se ha generalizado para describir que si se pierde cualquier objeto visual, este podrá ser recuperado y puesto en el centro del campo de visión al mover dos veces la mano hacia la izquierda. Tomado de (Sánchez, 2017)

Diferenciación

Debido a que ahora los esquemas pueden ser parte de un esquema arborescente, en la versión 2.0 de *Dev E-R* se modificó el proceso de diferenciación, para que ahora todos los esquemas que resulten del proceso de diferenciación, tengan el mismo ancestro. Con excepción de los esquemas que son raíz de un árbol, ya que no tienen ancestro.

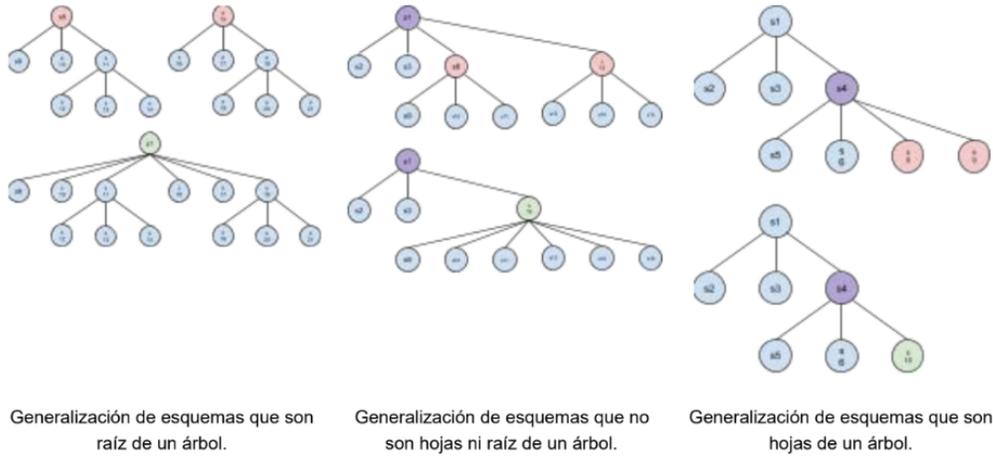


Figura 4.12: Cuando un esquema necesita ser generalizado (en rojo), se crea el esquema generalizado (en verde) conservando su posición con respecto al esquema ancestro dentro del árbol (en morado). El esquema generalizado conserva a todos los subesquemas de los esquemas a generalizar. Sólo se pueden generalizar esquemas que tengan al mismo ancestro en común. Tomado de Sánchez (2017)

Esquemas acumuladores

Originalmente el proceso de diferenciación al identificar un esquema con porcentaje de éxito menor a la variable $P_{success}$ generaba esquemas más específicos a partir del esquema original y eliminaba el original. En esta nueva versión los esquemas no se eliminan, sólo se asigna -1 a su variable *equilibrated* para que el proceso de *Engagement* ya no los tome en cuenta y su contexto se generaliza totalmente. De esta forma, se conserva la experiencia que no logra ser capturada por los esquemas diferenciados del esquema original. Adicionalmente, esta medida evita la creación de esquemas que ya han sido eliminados y permite identificar en los esquemas acumuladores esquemas que necesitan ser diferenciados al alcanzar cierto valor N_{used} de experiencias con un cierto porcentaje $P_{success}$ de éxitos.

4.5.2. Asimilación

El mecanismo de asimilación por *Reflection* no sufrió cambios en esta nueva versión de Dev E-R, es decir, solamente realiza una acción aleatoria. En cambio, la asimilación por *Engagement* presenta las siguientes modificaciones:

- La lista de los esquemas elegibles se compone de esquemas básicos, esquemas compuestos y las hojas de los esquemas compuestos en forma de árbol.
- Los esquemas elegibles son esquemas básicos y las hojas de esquemas desarrollados. Si en el ciclo anterior *Engagement* seleccionó un esquema hoja y las expectativas después de ejecutar ese esquema se cumplen, entonces *Engagement* elige como siguiente esquema al padre del esquema hoja. En caso de no cumplirse las expectativas se elegirá un esquema siguiendo el proceso original.
- Si se hace correspondencia parcial con un esquema compuesto, entonces éste esquema se copiará y se tomará como un esquema simple sin experiencia.
- El porcentaje de correspondencia es un número entero que decrece en uno a cada iteración de búsqueda. Los contextos visuales se componen de 5 campos, así que la ausencia de correspondencia en cada campo corresponde a un 20%, y en los contextos táctiles se cuenta con 3 campos, así que la ausencia de correspondencia en cada campo corresponde a un 33%.
- Se añadieron al conjunto de acciones internas *showInterestInV* y *showInterestInT* para acelerar el aprendizaje de esquemas que utilicen a estas dos acciones, como lo es el caso de los esquemas tacto-visuales.
- Sólo se toma en cuenta el placer esperado del esquema raíz. De este modo, el agente selecciona esquemas atraído por el contexto descrito en la expectativa del esquema raíz. No tomar en cuenta el porcentaje de expectativas cumplidas favorece a la diversidad de esquemas a la hora que elegir, lo cual diversifica las experiencias entre los esquemas y acelera su proceso de acomodación al recibir mayor experiencia.

4.6. Desarrollo cognitivo en el agente PiaDev

Con los cambios a las características cognitivo-afectivas del agente en esta nueva versión, mediante la realización de los experimentos que más adelante se describen, se pudo observar el desarrollo de comportamientos más complejos de los que desarrolló el agente en su primer versión. El escenario virtual para los experimentos consistió de una habitación en la que se encontraba una pelota estática al alcance de su mano.

El agente se inició con la capacidad de poder ver y tocar su mundo, de mover su cabeza

4. ANTECEDENTES: EL AGENTE JACQUES Y EL MODELO *DEV E-R*

y su mano, así como con la habilidad para reconocer 3 colores, 3 texturas, 19 tamaños y utilizar 7 esquemas básicos (ver figura 4.13). La memoria a corto plazo se restringió a poder recordar máximo 3 tiempos de su pasado inmediato.

Esquema	Descripción
<pre>{ "id": "1", "context": [[, -1]], "lAction": ["random"] }</pre>	Esquema básico de tanteo para recuperar un objeto placentero cuando desaparece.
<pre>{ "id": "2", "context": [{"T", 1, "handOpen"}], "lAction": ["handClose"] }</pre>	Comportamiento reflejo de cerrar la mano en cuanto ésta entra en contacto con un objeto.
<pre>{ "id": "3", "context": [{"V", 1, , ,}], "lAction": ["showInterestIn V"] }</pre>	Tendencia a preservar los estímulos visuales placenteros.
<pre>{ "id": "4", "context": [{"T", 1, ,}], "lAction": ["showInterestIn T"] }</pre>	Tendencia a preservar los estímulos táctiles placenteros.
<pre>{ "id": "5", "context": [{"V", 2, , ,}], "lAction": ["changeAttention V"] }</pre>	Tendencia a cambiar de contexto visual atendido en cuanto se alcanza un estímulo máximo.
<pre>{ "id": "6", "context": [{"T", 2, ,}], "lAction": ["changeAttention T"] }</pre>	Tendencia a cambiar de contexto táctil atendido en cuanto se alcanza un estímulo máximo.
<pre>{ "id": "7", "context": [{"V", 2, ,}], "lAction": ["showInterestIn V"] }</pre>	Tendencia a mostrar interés por los objetos visuales ubicados en el centro de su campo de visión.

Figura 4.13: Esquemas básicos con los que se inicializó el agente PiaDev. Tomado de (Sánchez, 2017)

Primer equilibrio cognitivo

La primera vez que el agente entró en equilibrio cognitivo aprendió y estabilizó esquemas que le permiten:

- Recuperar objetos en su campo de visión con movimientos de la cabeza.
- Recuperar su mano dentro del campo de visión con movimientos de la mano.

- Recuperar la percepción visual de un objeto que el agente está palpando.
- Tomar objetos que está viendo y palpando.

Segundo equilibrio cognitivo

Para la segunda vez que el agente entró en equilibrio cognitivo había aprendido y estabilizado esquemas para:

- Centrar en su campo de visión, mediante movimientos de cabeza, los objetos que ve, dando lugar a la adquisición de la habilidad de seguir visualmente a los objetos de interés.
- Con estos esquemas y los estabilizados en el equilibrio cognitivo anterior, el agente tiende a centrar tanto la pelota como su mano, y al estar en esta situación se activa algún esquema de tomar la pelota.

Tercer equilibrio cognitivo

Para el tercer equilibrio cognitivo el agente construyó y estabilizó esquemas arbórescentes de profundidad 2 y 3. Estas nuevas estructuras de conocimiento le permiten

- Centrar en su campo de visión los objetos que ve mediante movimientos de cabeza.
- Centrar su mano con movimientos de la mano.
- Centrar su mano con movimientos de cabeza y mano.
- Recuperar y centrar un objeto de interés que ha perdido.
- Recuperar visualmente un objeto que palpa, hasta agarrarlo y llevarlo al centro de su campo de visión.

Capítulo 5

Jacub: La reimplementación del agente Jacques en la plataforma iCub

5.1. iCub y la plataforma YARP

En esta sección se describen las principales características de la plataforma robótica iCub. Uno de los objetivos de este trabajo es migrar el agente Jacques (ver capítulo 4) a la plataforma iCub. La finalidad de esta migración es actualizar el proyecto de investigación iniciado por Aguilar (2015), con lo cual se espera impulsar la continuidad del proyecto con una plataforma más adecuada a los objetivos del mismo. Debido a que trabajar con el robot físico está fuera del alcance del trabajo que aquí se presenta, en su lugar trabajaremos con el simulador que es parte del software del iCub que emula fielmente al robot real.

5.1.1. El robot humanoide iCub

iCub es una plataforma robótica humanoide de código abierto diseñada para la investigación en cognición humana e inteligencia artificial. La plataforma iCub fue desarrollada por el Instituto Italiano de Tecnología (IIT) en 2009, y desde entonces se ha posicionado como una de las mejores plataformas robóticas para investigación. En la figura 5.1 se muestran fotografías del robot iCub.

iCub tiene la apariencia de un niño y está diseñado para interactuar con las personas y el ambiente tan naturalmente como lo haría un niño de verdad. El robot tiene una altura de 104 centímetros, tiene manos para manipular objetos, así como sensores para ver, escuchar y sentir con el tacto.

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

El software de control del robot iCub está escrito principalmente en C++ y consiste de dos elementos principales: 1) YARP y 2) el propio software del iCub. En las siguientes secciones se detalla cada uno de estos componentes.

El trabajo que aquí presentamos está probado en el simulador del iCub, no obstante, como los mismos desarrolladores del iCub lo señalan (Tikhanoft et al., 2012), el software escrito para el simulador es transferible al robot físico sin necesidad de adaptar o reescribir el código; por lo que el trabajo aquí presentado es potencialmente funcional con el robot físico.

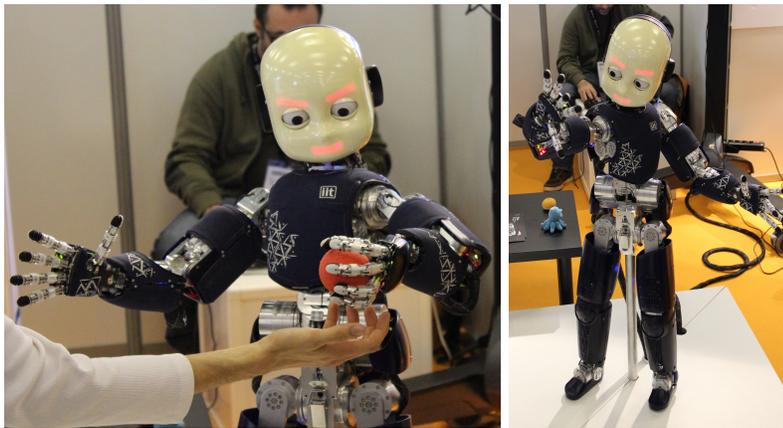


Figura 5.1: El robot humanoide iCub. Imágenes tomadas de Wikimedia Commons (2016, 2018)

5.1.2. YARP: Yet Another Robot Platform

YARP¹ (acrónimo de Yet Another Robot Platform) es un paquete de software de control e interconexión de sensores, procesadores y actuadores en sistemas robóticos, es de código abierto y está programado en C++. YARP consiste en un conjunto de bibliotecas, protocolos y herramientas (Jager and Meijering, 2015). La filosofía de diseño de YARP es tener un conjunto de módulos que se comunican a través de puertos ethernet. La ventaja de este enfoque es la posibilidad de agregar nuevos módulos de forma sencilla. Las conexiones entre los puertos se pueden crear y destruir dinámicamente sin tener que detener el sistema (Metta et al., 2009). El robot iCub incluye una interface YARP que permite obtener información de los sensores, establecer parámetros, controlar los motores y otros aspectos del robot. De esta forma la complejidad del robot físico queda oculta para el usuario. La comunicación en YARP se realiza a través de componentes especiales de software llamados puertos. Los puertos envían información a cualquier

¹Documentación disponible en: <https://www.yarp.it>

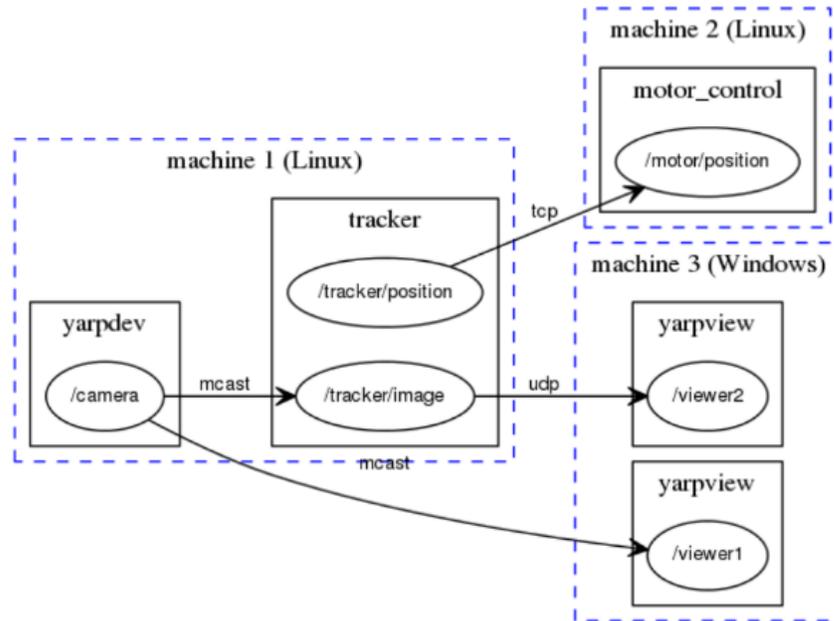


Figura 5.2: Ejemplo de una red YARP (Istituto Italiano di Technologia, 2015).

observador que esté conectado al puerto y del mismo modo pueden recibir información de otros puertos. En YARP cada puerto debe registrarse con un nombre único ante un servidor central llamado `yarpserver`. Por ejemplo, `/icub/camera/right` o `/icub/hand/left`. Conociendo el nombre de un puerto es posible comunicarse con él desde cualquier máquina conectada a la red YARP. Las conexiones entre los puertos pueden usar diferentes tipos de protocolo de transporte (TCP, UDP, etc.)

Todos los puertos, dispositivos y máquinas conectadas son referidos como una red YARP. La figura 5.2 presenta un ejemplo simple de red YARP. El diseño de YARP permite que los distintos elementos se puedan ejecutar en diferentes computadoras y plataformas de forma que el procesamiento se puede distribuir en la red YARP.

La comunicación entre puertos tiene lugar al escribir en ellos o leer de ellos. Para mas detalle acerca de los diferentes tipos de puertos y conexiones consultar Jager and Meijering (2015).

5.1.3. iCub software

El software del iCub consiste en una colección de módulos de control, bibliotecas, interfaces gráficas y herramientas. Entre dichos componentes destacan *yarpmotorgui* y el simulador del iCub. Cualquier módulo de software del iCub es un cliente que se comunica con el robot y con cualquier otro módulo usando puertos. La dinámica de comunicación entre los componentes de software del iCub y el hardware del robot se aprecian en la figura 5.3.

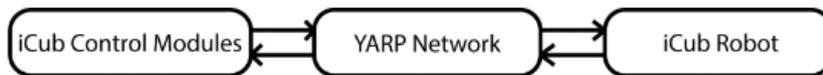


Figura 5.3: Comunicación entre los módulos de control y el robot iCub . Tomado de Jager and Meijering (2015)

De los módulos de control es especialmente importante el módulo *yarpmotorgui* ya que permite al usuario mover a voluntad cualquier articulación del robot, así como establecer la velocidad de los motores de las articulaciones, entre otras cosas (ver figura 5.4). Otro componente importante del software del iCub es el simulador virtual del robot físico, este componente de software se describe en la siguiente sección.

5.1.4. Simulador del iCub

Como parte del paquete de software del iCub se incluye un simulador 3D del robot físico (ver figura 5.5) el cual se puede utilizar para probar y desarrollar software de control para el robot físico. El software de simulación resulta sumamente práctico ya que ofrece todas las características y funcionalidades del robot físico.

El simulador del iCub proporciona un ambiente seguro en el cual probar y verificar código escrito para el iCub. Este componente de software simula con gran exactitud las características físicas y dinámica del robot real. Así mismo, simula información sensorial de visión y tácto del robot virtual. El simulador coloca el robot simulado en un mundo virtual en el que pueden existir objetos tridimensionales. El simulador incluye un motor de física para simular los efectos de la gravedad en los objetos dentro del mundo virtual. De esta forma el robot simulado puede interactuar con los objetos virtuales como lo haría en el mundo real (ver figura 5.6).

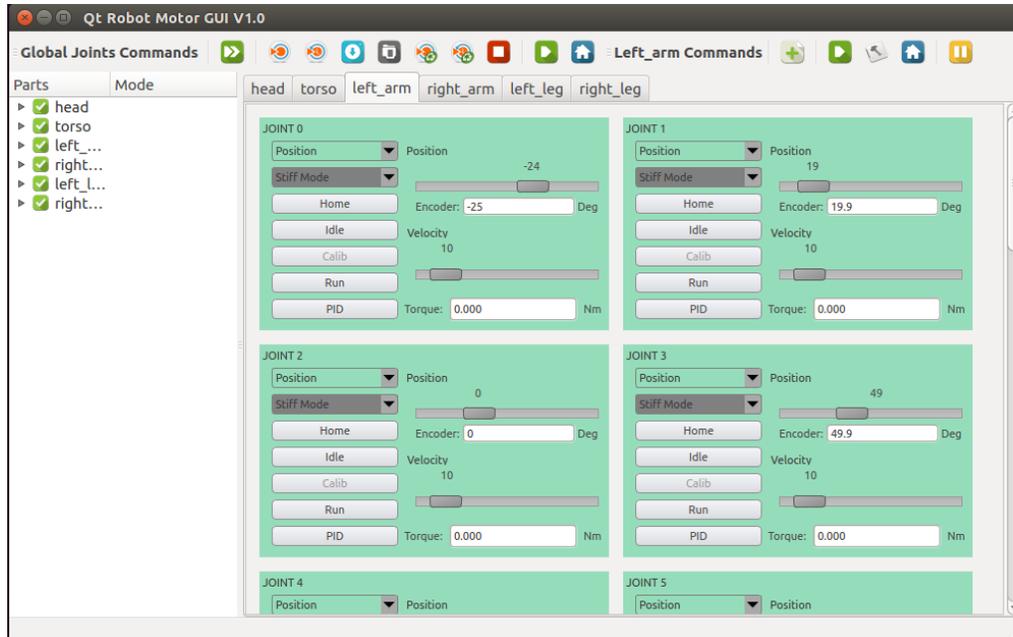


Figura 5.4: yarpmotorgui

El software de simulación permite al usuario experimentar con varios tipos de configuraciones y controles sin el riesgo de dañar el robot físico.

La comunicación entre el software de control o el software de usuario y el simulador también es a través de puertos YARP. Los mensajes y comandos entre módulos son enviados a través de puertos. Por ejemplo, yarpmotorgui envía la posición de una articulación al puerto adecuado en el simulador y al ser recibido este movimiento será ejecutado. Esta dinámica de comunicación se puede apreciar en la figura 5.7.

El simulador contiene varias configuraciones y comportamientos predeterminados. Estas configuraciones se pueden ajustar a las necesidades del usuario. Entre las configuraciones que se pueden hacer están el desactivar o activar partes del cuerpo del robot, limitar los movimientos de las articulaciones a cierto rango, cambiar el color del robot y ajustar las características físicas del mundo virtual, como por ejemplo la fuerza de fricción entre dos objetos en contacto. También es posible agregar objetos tridimensionales como esferas, cubos y cilindros configurables en color y tamaño; sin contar que existe la posibilidad de importar modelos tridimensionales diseñados por el propio usuario con algún software de modelado 3D.



Figura 5.5: Simulador 3D del iCub

5.2. Jacub

En esta sección presentamos a Jacub, un robot humanoide (virtual) que es capaz de desarrollar sus primeras manifestaciones de intencionalidad. Jacub (pronúnciese [ˈdʒeɪkəb]) es el nombre que hemos dado a la reimplementación en la plataforma iCub del agente Jacques presentado por Aguilar (2015); ? y mejorado por Sánchez (2017). Esta reimplementación es una de las aportaciones de este trabajo a su predecesor. Creemos que la plataforma iCub al ser una plataforma sofisticada diseñada especialmente para investigación en cognición humana e inteligencia artificial, potencia la capacidad del proyecto iniciado por Aguilar (2015) y propicia su continuación a futuro.

Cuando nos referimos a Jacub en realidad estamos hablando de una colección de componentes de software que incluye el propio software del iCub, el simulador y los módulos cognitivo-afectivos que hemos desarrollado para este proyecto. En la figura 5.8 se muestran los componentes de software de Jacub.

El mundo virtual que habita Jacub está diseñado para la realización de los experimentos que se han pensado para promover el desarrollo cognitivo del agente (ver capítulo 7). El escenario para experimentos consta de una mesa en la cual se han colocado objetos de diferentes formas y tamaños que Jacub puede percibir a través de sus sentidos del tacto y la vista (ver figura 5.9). Dichos objetos tienen características físicas como color, tamaño y textura. Los objetos en el mundo virtual pueden ser afectado por fenómenos físicos como la fricción y gravedad. Para los objetivos de este trabajo la diferenciación de texturas no es relevante por lo que se ha asignado un textura fija igual para todos los objetos.



Figura 5.6: iCub simulado interactuando con objetos tridimensionales

5.2.1. Características físicas

Jacub es un robot humanoide virtual de color blanco que tiene el cuerpo y la apariencia de un niño de tres años (ver figura 5.2.1). Con su cuerpo, puede realizar una serie de acciones que le permiten interactuar con su mundo. Con la finalidad de simplificar el agente sólo se ha habilitado el ojo izquierdo y la mano izquierda. Las acciones físicas que puede realizar Jacub son las mismas que podía realizar su predecesor Jacques. Estas incluyen movimientos de cabeza y movimientos de la mano izquierda. Todos los movimientos del robot están controlados y limitados a un rango predeterminado y configurable por medio de un archivo de configuración. De manera predeterminada, cada movimiento de cabeza gira la cabeza 15 grados en la dirección indicada (izquierda, derecha, etc.) La tabla 5.1 muestra la lista completa de acciones físicas que puede realizar Jacub.

5.2.2. Ciclo de percepción y acción

Desde el inicio Jacub entra en un ciclo de percepción-acción, por medio del cual interactúa con su mundo. Las etapas del ciclo de percepción-acción se describen, a grandes rasgos, a continuación:

1. **Percepción:** Consiste en la creación del contexto-actual a partir de la información sensorial. Inicia, precisamente, en el módulo de percepción y termina en el módulo

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

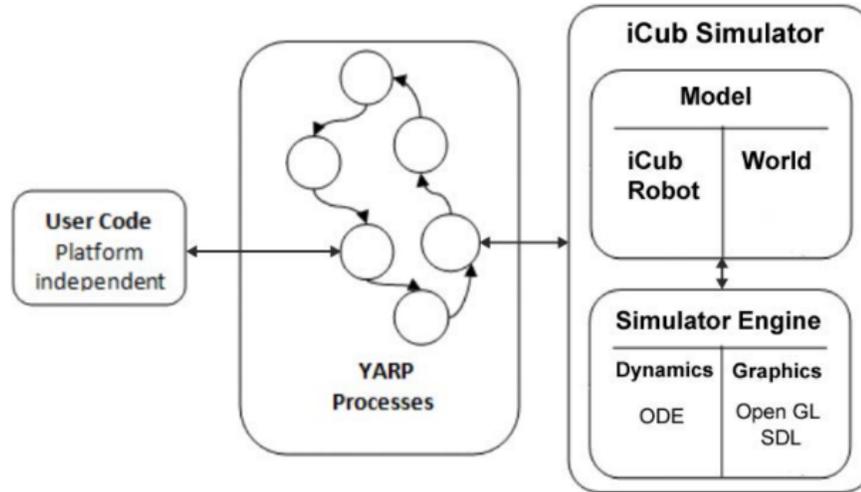


Figura 5.7: Interacción con el simulador. Tomado de Jager and Meijering (2015)

de emociones.

- 1.1 *Percepción*: Con la información sensorial de la vista y el tacto crea un contexto-sensorial, el cual está formado por las características físicas de todos los objetos disponibles a los sentidos del agente.
- 1.2 *Atención*: Del contexto-sensorial se selecciona un objeto de interés para cada sentido; el resultado de este paso es el contexto-atendido.
- 1.3 *Emociones*: Complementa el contexto-atendido con las emociones que los objetos atendidos provocan en el agente. El resultado de este proceso es el contexto-actual.
2. **Acción**: Consiste en la ejecución de las acciones apropiadas dado el contexto-actual. Este proceso inicia en el módulo *Dev E-R* y termina en el módulo de locomoción.
 - 2.1 *Dev E-R*: Toma el contexto-actual de la memoria a corto plazo y busca en la memoria a largo plazo los esquemas más adecuados para la situación actual. De entre los esquemas recuperados de la memoria, selecciona el mejor y envía la lista de acciones al módulo de locomoción para su ejecución; o en dado caso que no se encuentre ningún esquema, manda a ejecutar una acción aleatoria.
 - 2.2 *Locomoción*: Recibe la lista de acciones y las realiza en el orden indicado. Al terminar la ejecución, le avisa al módulo de percepción que ha terminado de ejecutar las acciones y el ciclo se repite.

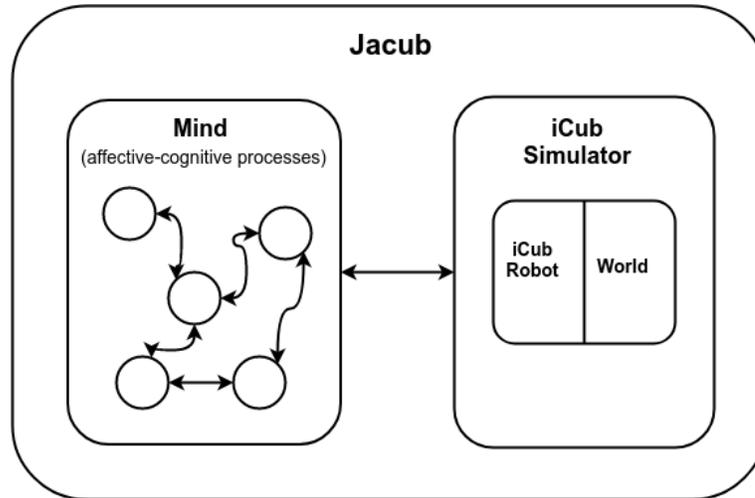


Figura 5.8: Componentes de software del agente Jacub

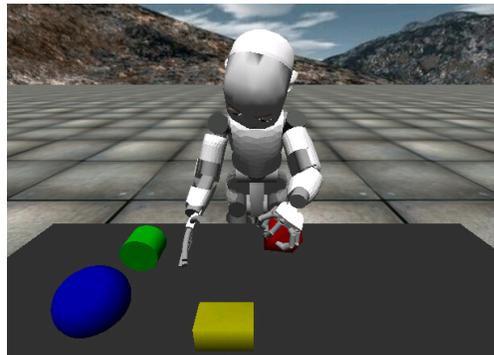


Figura 5.9: Jacub interactuando con algunos objetos sobre una mesa

5.2.3. Arquitectura Cognitivo-Afectiva

Todos los módulos que comprenden la arquitectura cognitiva y afectiva de Jacub se han programado desde cero en C++. En conjunto, estos módulos conforman la mente de Jacub. Estos módulos fueron pensados como procesos YARP que se comunican entre sí utilizando la lógica de puertos que establece YARP, los cuales intercambian mensajes en formato JSON o texto plano. En la figura 5.11 se muestra la arquitectura cognitiva de Jacub. La nueva arquitectura cognitiva es una reestructuración de la arquitectura de su predecesor, Jacques, y está pensada para mantener las mismas características cognitivas que este. Las características cognitivas que se debieron reimplementar son:

1. Que simule respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones intrínsecas

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB



Figura 5.10: Vista de cuerpo completo de Jacub

- que le empujen a actuar
2. Que cuente con una memoria de largo plazo y una memoria de corto plazo.
 3. Que pueda ver y tocar su mundo.
 4. Que simule un proceso de atención.
 5. Que cuente con un mecanismo de adaptación a su medio ambiente.

Los requerimientos cognitivos antes mencionados se han implementado en los módulos que se describen a continuación tomando en cuenta las ideas sobre cognición y emoción presentadas en el capítulo de fundamentos teóricos (capítulo 3).

5.2.3.1. Percepción

El módulo de percepción se encarga de darle estructura y sentido a la información sensorial cruda proveniente de la cámara y de los sensores de la piel artificial de la mano izquierda de Jacub. Los puertos YARP más importantes para este módulo se muestran en la tabla 5.2.

Visión

Jacub tiene habilitada la cámara del ojo izquierdo, la cual le permite ver su mundo virtual. Esta cámara captura imágenes de 320x240 píxeles. Al igual que Jacques, Jacub divide la imagen en nueve zonas y es capaz de determinar en cuál de éstas se encuentra cada objeto a partir de su centroide (ver figura 5.12). Para la detección visual de objetos se hace uso de la biblioteca de visión artificial OpenCV ¹, en específico del API SimpleBlobDetector. Con OpenCV se hace la detección de objetos de interés por color y tamaño y se obtiene su centroide, el cual es ubicado dentro de una de las nueve zonas

¹<https://opencv.org>

Nombre de la acción física	Descripción
headLeft	Mueve la cabeza a la izquierda
headRight	Mueve la cabeza a la derecha
headUp	Mueve la cabeza hacia arriba
headDown	Mueve la cabeza hacia abajo
headRightUp	Mueve la cabeza hacia arriba y a la derecha
headRightDown	Mueve la cabeza hacia abajo y a la derecha
headLeftUp	Mueve la cabeza hacia arriba y a la izquierda
headLeftDown	Mueve la cabeza hacia abajo y a la izquierda
closeHand	Cierra la mano
openHand	Abre la mano
handLeft	Mueve la mano a la izquierda
handRight	Mueve la mano a la derecha
handUp	Mueve la mano hacia arriba
handDown	Mueve la mano hacia abajo
handForward	Mueve la mano hacia el frente
handBackwards	Mueve la mano hacia atrás
random	Elige una acción de las anteriores de manera aleatoria

Tabla 5.1: Repertorio de acciones físicas, también llamadas acciones externas, que Jacub puede realizar.

del campo de visión. Para la detección visual de movimiento se hizo uso del módulo motionCUT¹ (Ciliberto et al., 2011)

A diferencia de Jacques, que era capaz de desarrollar su habilidad para reconocer diferentes colores y tamaños con el tiempo, Jacub desde un inicio cuenta con una lista predeterminada de colores y tamaños que es capaz de reconocer. Dicha lista de colores y tamaños reconocibles se especifica mediante un archivo de configuración, por lo cual es posible agregar más colores si es necesario (ver fragmento de código 5.3). Esta lista de colores y tamaños es utilizada por el módulo de percepción para identificar en la imagen proveniente del ojo izquierdo áreas que sean de algún color y tamaño en la lista.

¹ http://www.icub.org/software_documentation/group_motionCUT.html

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

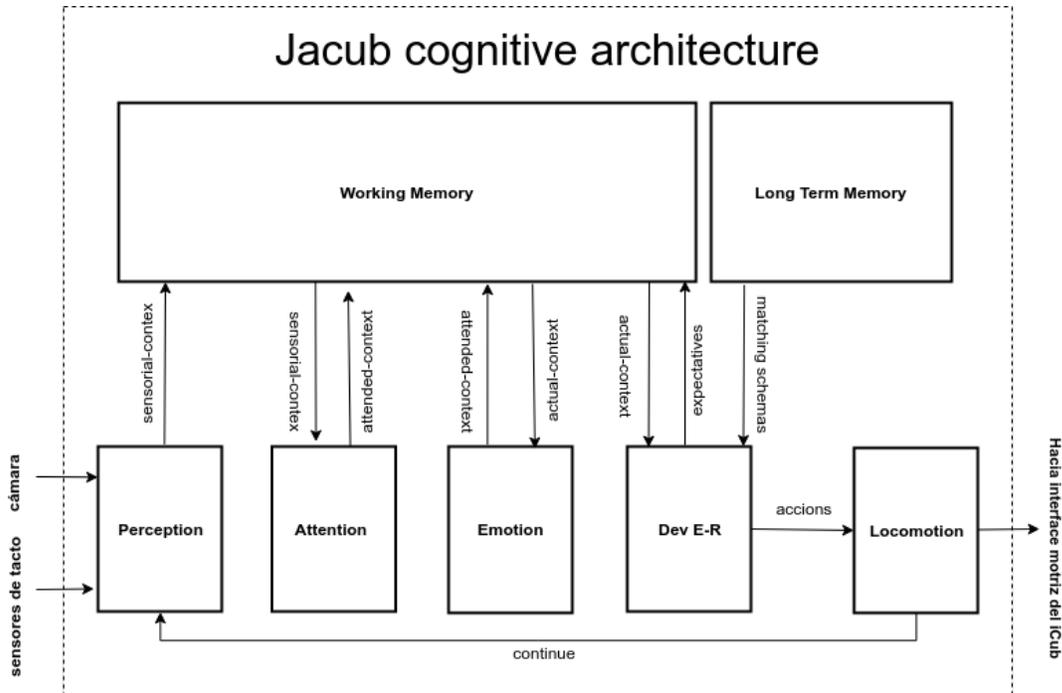


Figura 5.11: Diagrama simplificado de la arquitectura cognitivo-afectiva de Jacub

	Puerto	Descripción
Entrada	/jacub/perception/leftEye:i	Imagen de entrada
	/jacub/perception/leftHand:i	Información táctil de los sensores de la mano
Salida	/jacub/perception/sensorialContext:o	Color, tamaño y posición del objeto percibido

Tabla 5.2: Puertos principales del módulo de percepción

Fragmento de código 5.1: Ejemplo del archivo de configuración de colores y tamaños reconocibles por el agente

```
{
"colors": [
  {"name": "c1", "from": [100,0,0], "to": [255,0,0]},
  {"name": "c2", "from": [0,0,100], "to": [0,0,255]},
  {"name": "c3", "from": [230,230,230], "to": [255,255,255]}
],
"sizes": [
```

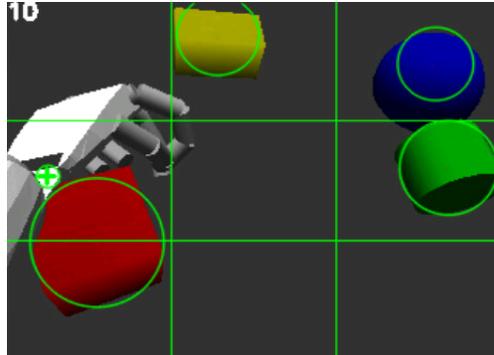


Figura 5.12: Campo visual de Jacub con objetos identificados por OpenCV marcados con un círculo verde

```

    { "name" : "s1", "from" : 101, "to" : 10000 },
    { "name" : "s3", "from" : 10000, "to" : 20000 }
  ]
}

```

Tacto

Jacub cuenta también con sensores virtuales de tacto ubicados en la palma y puntas de los dedos de la mano izquierda (ver figura 7.12), los cuales le permiten identificar cuando su mano entra en contacto con un objeto. A diferencia de Jacques, Jacub funciona con una textura predeterminada y fija, ya que para esta investigación no es relevante la diferenciación de texturas. Adicionalmente, Jacques puede saber si su mano está abierta o cerrada.

5.2.3.2. Atención

Los puertos más importantes para este módulo se muestran en la tabla 5.3.

	Puerto	Descripción
Entrada	/jacub/attention/perceptual-context:i	Todos los objetos percibidos
Salida	/jacub/attention/attendedContext:o	Objeto atendido (visual-táctil)

Tabla 5.3: Principales puertos del módulo de atención

El proceso que usa Jacub para seleccionar los objetos de interés es el mismo empleado



Figura 5.13: Sensores de tacto de la palma de la mano activados (en rojo) por el contacto con un objeto

por Jacques. Cada vez Jacub sensa el ambiente selecciona aquel que tenga un mayor “valor de interés”. Para los objetos visuales este valor se calcula sumando tres valores que van de cero a uno y que se multiplican por constantes de ponderación para cada una de las características del objeto visto. La primera característica asigna un mayor valor a los objetos en movimiento y a los objetos con colores brillantes; la segunda da prioridad a objetos con características menos vistas y la tercera da prioridad a aquellos objetos con los que tiene una vínculo emocional. Como el agente solo puede tocar un objeto a la vez, el objeto tocado es el que se atiende.

5.2.3.3. Emociones

El módulo de emociones se encarga de complementar el contexto-atendido (generado en el módulo de atención) con las emociones adecuadas para dicho contexto, generando así el contexto-actual. Los puertos YARP más importantes para este módulo se muestran en la tabla 5.4.

	Puerto	Descripción
Entrada	/jacub/emotion/attendedContext:i	Contexto atendido
Salida	/jacub/emotion/currentContext:o	Contexto-actual

Tabla 5.4: Puertos principales del módulo de emoción

Para el diseño de este módulo nos hemos basado en la teoría de Case et al. (1988) sobre el desarrollo emocional de los infantes y el papel que juegan las emociones en el desarrollo cognitivo (ver sección 3.3). Las ideas que plantea Case son consistentes con

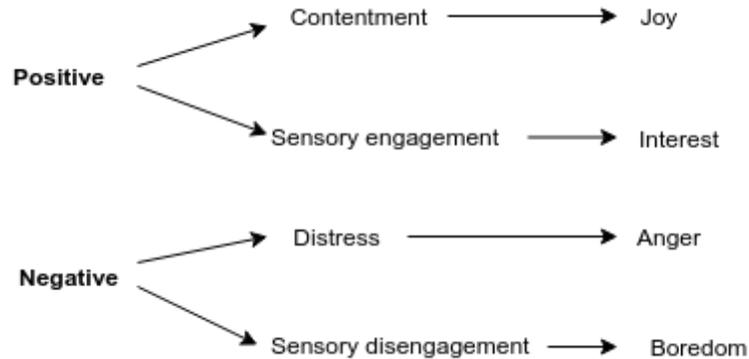


Figura 5.14: Clasificación y jerarquía de emociones para el módulo de emociones basado en la teoría de Case et al. (1988)

la visión de Piaget sobre el desarrollo cognitivo por lo que también son compatibles con el modelo de desarrollo cognitivo que se plantea en este trabajo. Si bien es cierto que no hay un consenso sobre cuáles emociones se deberían considerar como innatas, en el modelo de Case, solo dos pares contrastantes de emociones son consideradas innatas: el primer par lo conforman los estados emocionales de *contentment* (precursor de *joy*) y *distress* (precursor de *rage*); y el segundo par lo conforman los estados emocionales de *sensory engagement* (precursor del interés y asombro) y *sensory disengagement* (precursor del aburrimiento y la aversión). Para mayor detalle sobre estas emociones consulte la sección 3.3 del capítulo 3. La forma en que hemos integrado las ideas de Case a nuestro modelo se describe a continuación.

Contentment

Anteriormente, un objeto de interés podía provocar en el agente una respuesta emocional de *pleasure* con una valencia positiva y una intensidad 1, o 2 en caso de que el objeto se encontrara en su centro de visión. Con la finalidad de apegarnos a la teoría emocional de Case, en esta versión hemos mapeado la emoción de *pleasure* con valencia positiva a la emoción de *contentment*. Es decir, ahora en presencia de un objeto de interés, ya sea visual o táctil el módulo de emociones dispara la emoción de *contentment*. De acuerdo a Case et al. (1988) la emoción de *contentment* es una de las emociones básicas del sistema afectivo en humanos y es predecesora de la emoción de *joy*. En Jacub la intensidad de la emoción de *contentment* puede tomar valores 1 y 2. De manera predefinida se ha establecido que un objeto de interés dentro del campo de visión dispara *contentment* con una intensidad de 1 y solo en caso de que el objeto de interés se encuentra en el centro del campo de visión *contentment* se dispara con intensidad 2. De igual forma, se ha establecido que cuando Jacub toca un objeto con la mano abierta se dispara *contentment* con intensidad 1 y solo en caso de que lo toque

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

con la mano cerrada se dispara *contentment* con intensidad 2.

Distress

En las versiones anteriores, la pérdida de un objeto de interés (lo deja de ver o deja de sentirlo con la mano) provocaba una respuesta emocional de *pleasure* con valencia negativa e intensidad 1. En esta nueva versión, la respuesta emocional anterior se ha mapeado a la emoción de *distress* con intensidad 1. De acuerdo a Case et al. (1988) la emoción de *distress* es otra de las emociones básicas del sistema afectivo en humanos, la cual precede a la emoción de *rage*. La emoción de *distress* en Jacub puede solamente alcanzar una intensidad de 1.

Sensory engagement y sensory disengagement

En concordancia con Case et al. (1988), Jacub simula las emociones de *sensory engagement* y *sensory disengagement*, las cuales, también de acuerdo a Case, preceden a la emoción de interés y aburrimiento. Estos dos estados emocionales se modelan en esta versión del agente con variables booleanas. El estado emocional de *sensory disengagement* se activa a consecuencia de la ejecución de una acción interna llamada “*engageWithV*” o “*engageWithT*”. La emoción de *sensory disengagement* se dispara cuando el agente no percibe objetos de interés en el ambiente.

Los estados emocionales hasta aquí descritos ya existían en el agente Jacques.

Boredom

La emoción de *boredom* se activa cuando el agente atiende el mismo objeto durante un número predeterminado de veces consecutivas. Esta emoción causará que se ejecute una acción aleatoria para cambiar el contexto percibido. La emoción de *boredom* se desactiva cuando el agente atiende un objeto distinto al que causó la emoción.

Motivaciones intrínsecas

Jacub simula motivaciones intrínsecas que guían su desarrollo cognitivo. Este es el caso del estado de sorpresa cognitiva que se activa cuando 1) se ha perdido la percepción de un objeto al cual se encuentra enganchado sensorialmente y al realizar una acción aleatoria recupera dicha percepción sin estar esto registrado en sus expectativas o 2) cambia de contexto pero sigue manteniendo la emoción de *contentment* con la misma intensidad. El estado de sorpresa cognitiva es tomado en cuenta por el módulo de adaptación (ver capítulo 6) para saber cuándo se debe crear un nuevo esquema que refleje la nueva forma descubierta de recuperar el objeto perdido o de mantener la emoción

de *contentment*.

Por otro lado, se simula un estado de curiosidad cognitiva que se activa cuando no se cumplen las expectativas asociadas al esquema ejecutado. Este estado es tomado en cuenta por el módulo de adaptación para saber cuándo se requiere una acomodación del esquema usado (ver capítulo 6).

5.2.3.4. Memoria

Jacub tiene tanto una memoria a largo plazo que le permite almacenar conocimiento de forma permanente como también una memoria de corto plazo que le permite recordar experiencias de su pasado inmediato que no necesariamente se convertirán en conocimiento permanente. Es así que este módulo está compuesto de dos submódulos: 1) memoria a corto plazo y 2) memoria a largo plazo.

Un elemento importante que el agente necesita poder recordar, en cualquiera de los dos tipos de memoria, es el contexto actual.

Contextos

Un contexto es una estructura que contempla tanto las características del ambiente como las condiciones internas del agente en las cuales debe actuar. Como el agente cuenta solamente con dos sentidos (la vista y el tacto) la configuración que puede sentir del ambiente se limita a lo que puede percibir mediante estos dos sentidos. Por este motivo, un contexto estará formado por la configuración percibida por la vista y la configuración percibida por el tacto (incluyendo la configuración interna asociada a estos sentidos). Cada una de estas configuraciones reciben el nombre de “contexto visual” y “contexto táctil” respectivamente. En esta reimplementación de Jacques se usa JSON, tanto para la codificación de los contextos, como para las demás estructuras de conocimiento. Así, un contexto será un arreglo JSON de dos elementos. El primer elemento es el contexto visual y el segundo el contexto táctil, donde ambos son a su vez objetos JSON. La estructura general de un contexto se muestra a continuación:

```
[ContextoVisual, ContextoTactil]
```

Para el contexto visual las características relevantes son el color del objeto, el tamaño, si está estático o en movimiento, el cuadrante en el que se localiza dentro del campo de visión y la emoción que dicho objeto le provoca al agente. En el caso del contexto táctil, las características relevantes son la textura del objeto, si la mano está abierta o cerrada y la emoción que el objeto le provoca al agente. A continuación se presentan

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

algunos ejemplos concretos de contextos. El contexto vacío, es decir, aquel en el que el agente no atiende nada visual ni táctil, se representa como:

```
[ {}, {} ]
```

Un contexto que describe una situación en la que el agente tiene una emoción de *distress* con intensidad 1, disparada por un objeto de color "c1", tamaño "s8", que está estático y es percibido en el cuadrante 6 de su campo de visión, se representa como:

```
[ { "distress" : 1, "color" : "c1", "size" : "s8", "sector" : 6, "moving" : false }, { } ]
```

Una situación en la que el agente experimente una respuesta emocional de *contentment* de intensidad 1 hacia un objeto táctil, con textura "t3", que esté percibiendo con la mano abierta, se representa como:

```
[ {}, { "contentment" : 1, "texture" : "t3", "hand" : "open" } ]
```

El símbolo "*" se usará para indicar que el valor de una característica puede ser cualquiera de los valores permitidos para ésta. Así, una expectativa que indique que el agente espera experimentar una emoción de *contentment* con intensidad 1 hacia un objeto táctil, con cualquier textura, con la mano abierta o cerrada, se representa como:

```
[ {}, { "contentment" : 1, "texture" : "*", "hand" : "*" } ]
```

Una situación en que se perciben estímulos tanto visuales como táctiles puede ser la siguiente: el agente se encuentra en una situación en la que experimenta una emoción de *contentment* con intensidad 1 hacia un objeto visual de color "c1", tamaño "s2", estático, ubicado en la región 5 de su campo de visión y un objeto táctil le produce una emoción de *contentment* con intensidad 1 por un objeto de textura "t2" que percibe con su mano abierta; la situación anterior se representa como:

```
[ { "contentment" : 2, "color" : "c1", "size" : "s2", "sector" : 5, "moving" : false }, { "contentment" : 1, "texture" : "t2", "hand" : "open" } ]
```

Memoria a corto plazo

La memoria a corto plazo de Jacub tiene la capacidad de retener los contextos pasados, las acciones realizadas en dichos contextos y el contexto que resultó de ejecutar dichas

acciones. El número máximo de tiempos que Jacub puede recordar de su pasado inmediato está restringido por la variable $NFrames$. El agente en sus versiones anteriores se inicializaba con un valor de 1 para este parámetro, es decir, el agente sólo podía recordar el último contexto-acciones-consecuencia que realizó y ésta se iba incrementando automáticamente conforme el agente entraba en equilibrio cognitivo. Para esta versión partimos del desarrollo previo alcanzado por el agente, por lo que este parámetro se inicializa con un valor de 3. De este modo, Jacub inicia con la capacidad de recordar los contexto-acciones-consecuencia de los tres últimos ciclos de percepción-acción.

En la tabla 5.5 se muestra una memoria a corto plazo que tiene la capacidad de almacenar $NFrames = 3$ experiencias. Nótese que las consecuencias de las acciones realizadas en el tiempo $t - 1$ coinciden con el contexto del tiempo t .

ciclo t	
contexto	[{"contentment" : 1, "color" : "c3", "size" : "s2'", "sector" : 6, "moving" : false}, {}]
	headRight
↓	↓
acciones	headRight
↓	↓
consecuencia	[{"contentment" : 1, "color" : "c3", "size" : "s2'", "sector" : 6, "moving" : false}, {}]
ciclo t-1	
contexto	[{"contentment" : 1, "color" : "c3", "size" : "s2'", "sector" : 6, "moving" : false}, {}]
	headRight
↓	↓
acciones	headRight
↓	↓
consecuencia	[{"contentment" : 1, "color" : "c3", "size" : "s2'", "sector" : 6, "moving" : false}, {}]
ciclo t-2	
contexto	[{"contentment" : 1, "color" : "c3", "size" : "s2'", "sector" : 6, "moving" : false}, {}]
	headRight
↓	↓
acciones	headRight
↓	↓
consecuencia	[{"contentment" : 1, "color" : "c3", "size" : "s2'", "sector" : 6, "moving" : false}, {}]

Tabla 5.5: Ejemplo de un posible contenido de la memoria a corto plazo

Memoria a largo plazo

La memoria a largo plazo almacena de forma permanente la base de conocimiento del agente, la cual está compuesta de un conjunto de esquemas sensoriomotores que reflejan comportamientos “innatos” y aprendidos. En este sentido, un esquema es una estructura de conocimiento que está compuesta por: 1) un contexto, 2) un conjunto de acciones (físicas o mentales) que el agente puede ejecutar en dicho contexto y 3) el contexto que espera obtener al ejecutar dichas acciones. Dentro de la base de conocimiento se pueden encontrar dos tipos de esquemas: los básicos y los desarrollados. En el caso de los esquemas básicos no se espera un contexto en particular, ya que éstos representan comportamientos reflejos y tendencias que modelan las conductas innatas en infantes;

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

por este motivo, los esquemas básicos carecen de expectativas. Por otro lado, los esquemas desarrollados tienen forma de árbol y representan los comportamientos aprendidos a través de la interacción del agente con su mundo.

Internamente los esquemas se representan y almacenan como objetos JSON.

La estructura de un esquema básico se muestra en la figura 5.2

Fragmento de código 5.2: Estructura general de un esquema básico

```
{
  "id": entero,
  "context": [contexto visual, contexto t ctil],
  "actions": [lista de acciones]
}
```

Donde *id* corresponde a un identificador único de esquema en la base de conocimiento, *context* es el contexto en el que se puede aplicar el esquema y *actions* es la lista de acciones que el agente puede ejecutar en dicho contexto. Un ejemplo concreto de un esquema básico en la base de conocimiento de Jacub es el que se muestra en la figura 5.3, el cual representa la predisposición “innata” del agente de realizar un tanteo para recuperar objetos agradables al tacto que ha dejado de percibir con la mano.

Fragmento de código 5.3: Ejemplo de un esquema básico

```
{
  "id": 1,
  "context": [{}, {"distress": 1, "texture": "*", "hand": "*"}],
  "actions": ["random"]
}
```

Por otro lado, la estructura general de los esquemas desarrollados se muestra en la figura 5.4.

Fragmento de código 5.4: Estructura de un esquema desarrollado

```
{ "id": entero,
  "equilibrated": true/false,
  "context": [contexto visual, contexto t ctil],
  "actions": [lista de acciones],
```

```

"expected": [contexto visual esperado, contexto t cttil esperado],
"success": [lista de contextos],
"failure": [lista de contextos],
"children": [lista de esquemas hijo]}

```

Donde *id* corresponde a un identificador único de esquema en la base de conocimiento, *equilibrated* es una variable booleana que indica si el esquema está estabilizado o no, *context* es el contexto en el que se puede aplicar el esquema, *actions* es la lista de acciones que el agente puede ejecutar en dicho contexto, *expected* es el contexto esperado al ejecutar las acciones del esquema, *success* es una lista de contextos concretos en los cuales se han cumplido las expectativas del esquema y *failure* es la lista de contextos concretos en los cuales no se han cumplido las expectativas del esquema. Finalmente, *children* es una lista de esquemas que pueden ser básicos o desarrollados, de los cuales el esquema en cuestión es un padre. En caso de que el esquema sea un esquema-hoja se permite que el atributo *children* no esté presente. Los esquemas contenidos en la lista de esquemas, pueden contener a su vez a otros dentro de su atributo *children*, esta posibilidad es la que permite tener esquemas arborescentes de varios niveles, como el que se muestra en el fragmento de código 5.5.

Fragmento de código 5.5: Ejemplo de un esquema desarrollado

```

{
  "id": 77,
  "equilibrated": true,
  "context": [
    {"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"},
    {}],
  "actions": ["headUp"],
  "expected": [
    {"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
    ,
    {}],
  "children": [{
    "id": 78,
    "equilibrated": true,
    "context": [

```

5. JACUB: LA REIMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE JACQUES EN LA PLATAFORMA ICUB

```
{ "distress":1, "color":"*", "size":"*", "sector":2, "moving":"*" },
  {} ],
"actions":["headUp"],
"expected":[
  { "contentment":1, "color":"*", "size":"*", "sector":"*", "moving":"*" }
  ,
  {} ]
},
{
" id":79,
"equilibrated":true,
"context":[
  { "distress":1, "color":"c1", "size":"*", "sector":2, "moving":"*" },
  {} ],
"actions":["handDown"],
"expected":[
  { "contentment":1, "color":"*", "size":"*", "sector":"*", "moving":"*" }
  ,
  {} ]
}]
}
```

5.2.3.5. Adaptación

Los puertos más importantes para el módulo de adaptación se muestran en la tabla 5.6.

	Puerto	Descripción
Entrada	/jacub/iDevER/actualContext:i	Contexto-actual
	/jacub/iDevER/matchedSchemas:i	Esquemas aplicables en el contexto-actual
Salida	/jacub/iDevER/physicalActions:o	Acciones físicas correspondientes al esquema seleccionado
	/jacub/iDevER/mentalActions:o	Acciones mentales correspondientes al esquema seleccionado

Tabla 5.6: Puertos principales del módulo de adaptación

El módulo de adaptación simula los procesos de asimilación-acomodación-equilibración,

que de acuerdo a Piaget, son los procesos responsables del desarrollo cognitivo en la infancia temprana. Este módulo es una reimplementación del modelo *Dev E-R* desarrollado por Aguilar (2015) y Sánchez (2017), más nuevas funcionalidades. La implementación de este módulo se detalla en el capítulo 6.

5.2.3.6. Locomoción

Los puertos más importantes para el módulo de locomoción se muestran en la tabla ??.

	Puerto	Descripción
Entrada	/jacub/locomotion/actions:i	Lista de acciones a ejecutar
Salida	/jacub/locomotion/handState:o	Estado de la mano (open/closed)
	/jacub/locomotion/continue:o	Señal para iniciar el ciclo de percepción-acción nuevamente

Tabla 5.7: Puertos principales del módulo de locomoción

El módulo de locomoción se encarga de controlar el cuerpo de Jacub y de ejecutar las acciones físicas, como abrir o cerrar la mano o mover la cabeza (derecha, izquierda, arriba, abajo, etc.) Adicionalmente, lleva un registro del estado de la mano izquierda, es decir, si ésta se encuentra abierta o cerrada en el presente ciclo. Cuando ha terminado de ejecutar todas las acciones envía una señal al módulo de percepción para que continúe el siguiente ciclo de percepción-acción.

Capítulo 6

Intentional Dev E-R (versión 3.0 del modelo Dev E-R)

En este capítulo se presenta una versión extendida del modelo computacional *Dev E-R* al que hemos denominado *Intentional Dev E-R* o *iDev E-R*. El modelo original (descrito en el capítulo 4) presentado por Aguilar (2015) y extendido posteriormente por Sánchez (2017) simula los procesos de *asimilación-acomodación-equilibración* que, de acuerdo a Piaget, son los principales mecanismos del desarrollo cognitivo en el infante; a su vez, el modelo *Dev E-R* es una extensión del modelo computacional del proceso creativo *Engagement-Reflection* (Pérez and Sharples, 2001). Los mecanismos de *Dev E-R* permiten al agente virtual Jacub construir conocimiento sobre su mundo (representado como esquemas sensoriomotores) y usarlo para interactuar con él. La construcción y uso del conocimiento se lleva a cabo 1) automáticamente a través de un proceso de *Engagement*, o 2) analíticamente por medio un proceso de *Reflection*.

Las nuevas características que se introducen para *Dev E-R* en este trabajo son: 1) Mecanismos de simulación de desarrollo emocional de acuerdo al marco teórico de Case (ver sección 3.3); y 2) mecanismos que permitan al agente desarrollar un comportamiento dirigido por metas (intencional) incorporando ideas de la teoría de Michael Lewis sobre el desarrollo de la intencionalidad (ver sección 3.2).

La integración de las teorías sobre el desarrollo emocional y el desarrollo de la intencionalidad al modelo *Dev E-R* se refleja en los cambios que se describen a continuación.

6.1. Nuevos estados emocionales

Uno de los principales cambios introducidos en *iDev E-R* son los estados emocionales que puede experimentar el agente. Aunque los estados emocionales son activados por el módulo de emociones (ver sección 5.2.3.3), éstos influyen en el proceso de adaptación simulado por *iDev E-R*, y en consecuencia, influyen también en el desarrollo cognitivo del agente. De igual forma, el nivel de desarrollo cognitivo promovido por *iDev E-R* tiene influencia en el tipo de emociones que el agente puede experimentar. Lo anterior está en concordancia con la premisa de que la cognición y la emoción son interdependientes (Case et al., 1988, p. 12).

Las nuevas emociones que se han introducido en esta nueva versión del modelo Dev E-R están modeladas con base en la teoría de Case et al. (1988) sobre el desarrollo emocional (ver figura 6.1). Las nuevas emociones que el agente puede experimentar en esta versión son emociones asociadas a la persecución de una meta autoimpuesta. En este trabajo se debe entender por meta un contexto específico que el agente se ha “propuesto” producir. El establecimiento de una meta se describe a detalle en la sección 6.3.

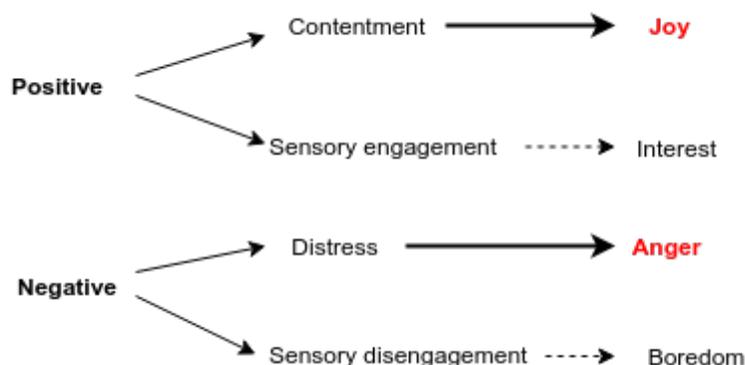


Figura 6.1: Nuevas emociones (en rojo) relativas a la persecución de metas autoimpuestas
Case et al. (1988)

Así, las emociones asociadas que puede experimentar el agente se ha autoimpuesto una meta son: 1) *joy* y 2) *distress*.

Joy

cuando el módulo de emociones detecta que el agente tiene una meta establecida, y el contexto-actual corresponde a la meta perseguida, activa la emoción de *joy* con intensidad 1. Esta emoción está pensada como la recompensa emocional que experimenta un infante al proponerse producir una situación específica en el mundo y ver cumplidas sus expectativas (Case et al., 1988, p. 19). La emoción de *joy* será utilizada por el módulo

de adaptación para automatizar en un solo esquema los esquemas que le permitieron al agente alcanzar la meta establecida (ver capítulo 6). La emoción de *joy* en esta versión perdura solamente un ciclo, por un ciclo después de haberse disparado se desactiva.

Rage

Por el contrario, si el módulo de emociones detecta que el agente tiene una meta establecida y no se han cumplido las expectativas después de ejecutar un esquema que lo acercaría a la meta, entonces, si la emoción de *rage* no se encuentra actualmente activa la dispara con intensidad 1; en caso de que ya se encuentre activa la intensifica en una unidad. Esta emoción está concebida como la emoción que el infante experimenta al proponerse producir una situación específica en el mundo y no poder conseguirlo (Case et al., 1988, p. 19). La emoción de *rage* será utilizada por el módulo de adaptación para tratar de encontrar una nueva forma de llegar a la meta (ver capítulo 6).

6.2. Cambios antes de entrar en modo Engagement

Antes de entrar en modo *Engagement*, si *iDev E-R* detecta la emoción de *joy* en el contexto-actual, aumenta un éxito al esquema de árbol que llevó a la activación de la emoción de *joy*. Si el número de situaciones exitosas en las que se activó *joy* llega a un umbral preestablecido, se compacta el camino que llevó de contexto del esquema hoja a la expectativa del esquema raíz (meta). Con “compactación” nos referimos a la creación de un nuevo esquema cuyo contexto será el contexto del esquema hoja utilizado; las acciones del nuevo esquema serán las acciones del esquema hoja, más las acciones de todos los ancestros del esquema hoja, incluyendo el esquema raíz. La lista de acciones estará ordenada según aparezcan en el recorrido de la hoja a la raíz. Finalmente la expectativa del nuevo esquema será la expectativa del esquema raíz. Este proceso de compactación se ilustra en el la figura 6.2.

La compactación de un esquema arborescente se puede ver como un proceso de automatización de comportamientos previamente desarrollados por el agente. En este sentido, un comportamiento que anteriormente se realizaba en varios ciclos, ahora se podrá hacer en uno solo. Dicho de otra forma, un comportamiento (como esquema arborescente) que le ha permitido al agente alcanzar una meta de manera exitosa un número predefinido de veces, se automatiza en un comportamiento que le permite llegar a esa meta de manera más eficiente (rápida). De esta forma, la emoción de *joy* promueve el desarrollo de comportamientos más eficientes.

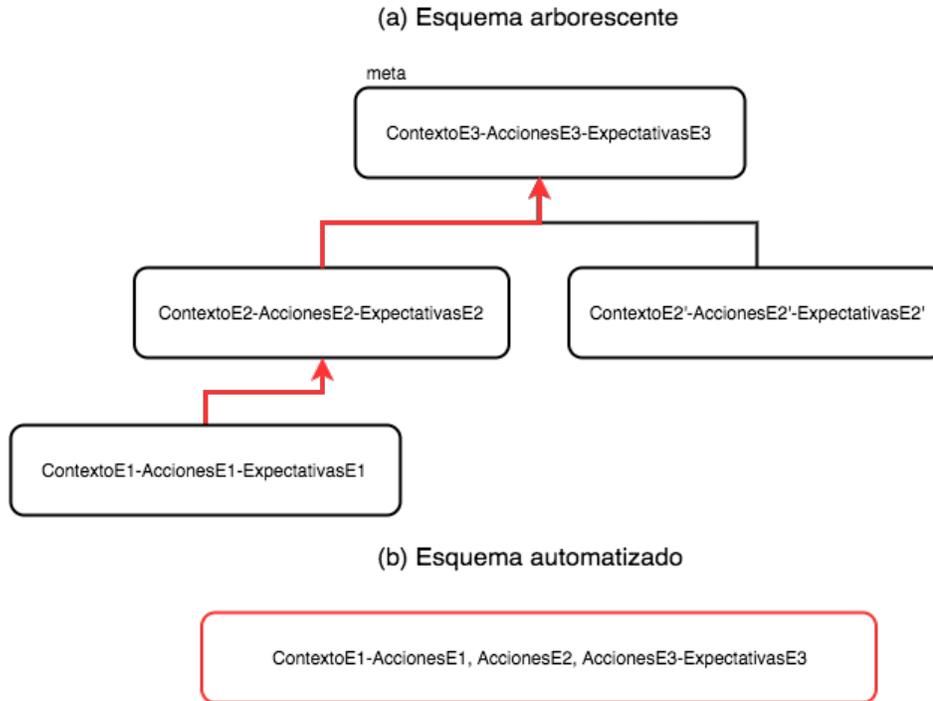


Figura 6.2: Automatización del camino en rojo del esquema (a) en el esquema (b)

6.3. Cambios en modo Engagement

En la nueva versión de *Dev E-R* cuando se busca un esquema en la base de conocimiento se deben considerar dos casos:

1. **No hay una meta establecida:** En este caso *Engagement* funciona igual que en la versión 2.0 de *Dev E-R*, es decir busca en memoria a largo plazo el esquema cuyo contexto corresponda con el contexto-actual, ya sea exactamente o parcialmente, considerando solamente las hojas de los esquemas.
 - a) **Establecimiento de una meta:** Si el esquema seleccionado es la hoja de un esquema arborescente de altura mayor a uno, entonces actualiza en la memoria de trabajo el contexto actual estableciendo como meta la expectativa del esquema raíz (ver figura 6.3).
2. **Hay una meta establecida:** Al buscar una correspondencia (exacta o parcial) para el contexto-actual, se consideran solo aquellos esquemas hoja que tengan como expectativa la meta actual en cualquier nivel del esquema árbol (ver figura 6.4). De esta forma, una vez establecida la meta el agente puede usar cualquier

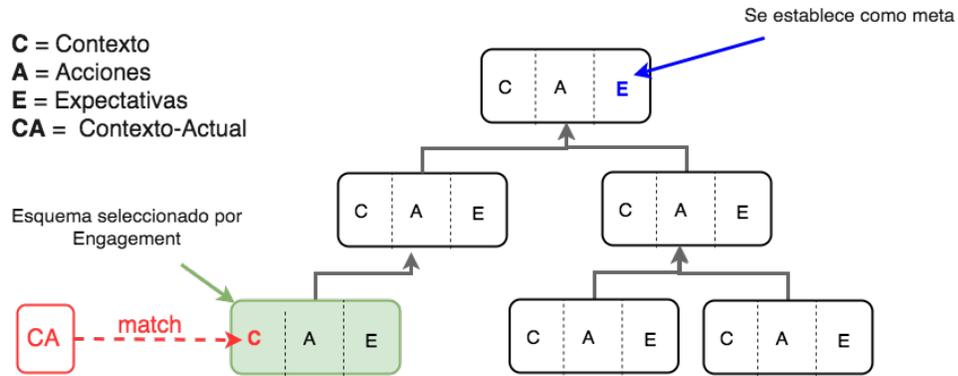


Figura 6.3: Establecimiento de meta después de la selección del esquema a ejecutar.

esquema que le permita alcanzar la meta, sin importar que la meta no corresponda el contexto esperado de la raíz del esquema. De este modo, el agente puede emplear alternativas para alcanzar la meta establecida.

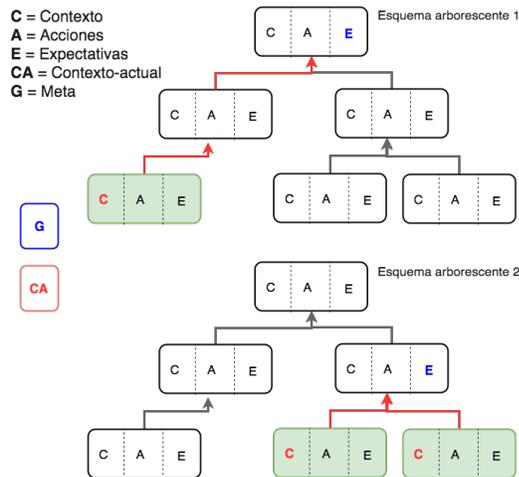


Figura 6.4: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

6.4. Cambios en modo Reflection

En versiones anteriores, *Dev E-R* en modo *Reflection* únicamente era capaz de solucionar situaciones de *impasse* ejecutando una acción aleatoria. Ahora, en caso de que *iDev*

6. INTENTIONAL DEV E-R (VERSIÓN 3.0 DEL MODELO DEV E-R)

E-R se encuentre en modo *Reflection* y detecte la emoción de *rage* en el contexto-actual, realiza el siguiente proceso para tratar de salir de la situación de *impasse*:

1. Se analizan las diferencias entre el contexto-actual y la expectativa.
2. Se buscan esquemas que tengan correspondencia exacta o parcial, de tal forma que se espere que la mayoría de las diferencias entre el contexto-actual y la expectativa se vuelvan coincidencias.
3. Si en el paso 2 no se encontró ningún esquema se ejecuta una acción aleatoria.

Para ejemplificar el proceso anterior, supóngase que en un tiempo t se tiene el siguiente contexto-actual $\{V_a, T_a\}$ donde V_a, T_a son el contexto-visual-actual y contexto-visual-táctil respectivamente. Por simplicidad, supóngase que la base de conocimiento tiene solo 2 esquemas $E1$ y $E2$, y que éste último es un esquema arborescente formado por el esquema $E2-3$ en la raíz y como hojas los esquemas $E2-1$ y $E2-2$ (ver figura 6.5).

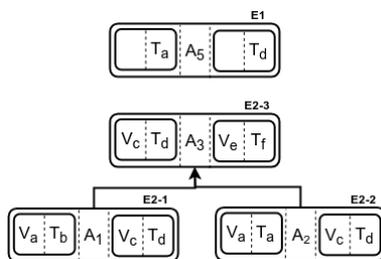


Figura 6.5: Base de conocimiento para ejemplificar el nuevo funcionamiento del modo *Reflection* de *iDev E-R*

Ciclo t (figura 6.6): *iDev-ER* entra en modo *Engagement* y realiza el siguiente proceso:

1. Al entrar en *Engagement* encuentra una correspondencia exacta entre el contexto-actual y el contexto del esquema $E2-2$, por lo que lo selecciona para su ejecución.
2. Se registra la expectativa del esquema $E2-2$.
3. Como el esquema $E2-2$ es parte de un esquema arborescente, se establece la expectativa del esquema raíz como meta.

Ciclo $t+1$ (figura 6.7): Supóngase que el contexto obtenido después de ejecutar el esquema $E2-2$ es $\{V_c, T_a\}$. Como la expectativa era obtener $\{V_c, T_d\}$, el módulo de emociones dispara la emoción de *rage* ya que no puede seguir avanzando en el árbol hacia la meta.

iDev-ER entra en modo *Engagement*, detecta la emoción de *rage* y cambia a modo *Reflection*.

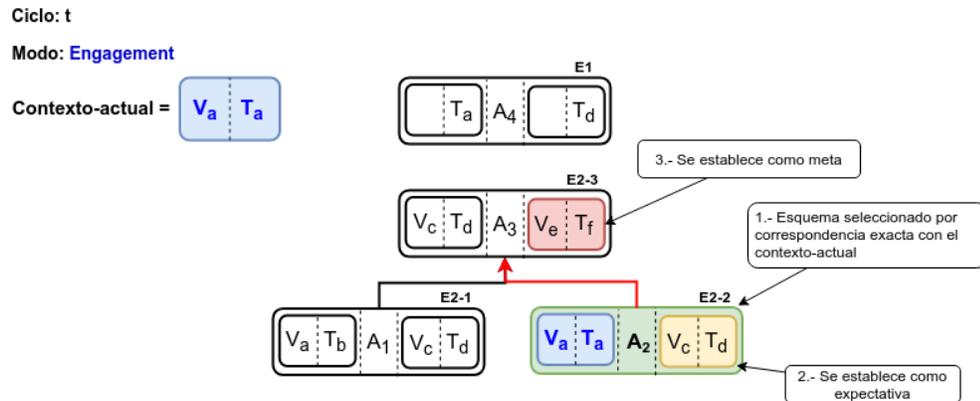


Figura 6.6: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

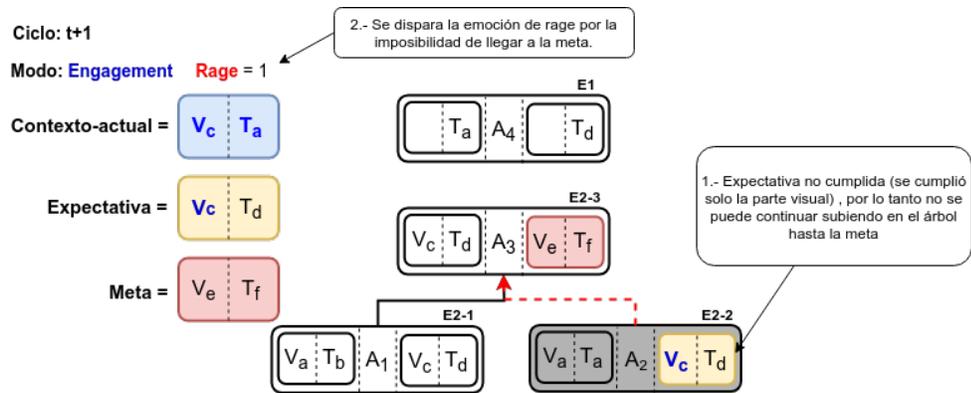


Figura 6.7: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

Para tratar de retomar el camino hacia la meta, *iDev E-R* tratará de encontrar un esquema cuya expectativa sea igual a la expectativa actualmente registrada y cuyo contexto corresponda exactamente o parcialmente con el contexto-actual (figura 6.8).

1. De la expectativa actual elimina la parte que se haya cumplido. En el caso del ejemplo, elimina de la expectativa la parte visual (V_c) que es la que sí se cumplió.
2. Vuelve a buscar un esquema cuya expectativa sea igual a la expectativa actualmente registrada y cuyo contexto corresponda exactamente o parcialmente con el contexto-actual. En este caso, el esquema $E4$ es seleccionado en este paso.

Ciclo t+2 (figura 6.11): *iDev-ER* entra en modo *Engagement* y realiza el siguiente

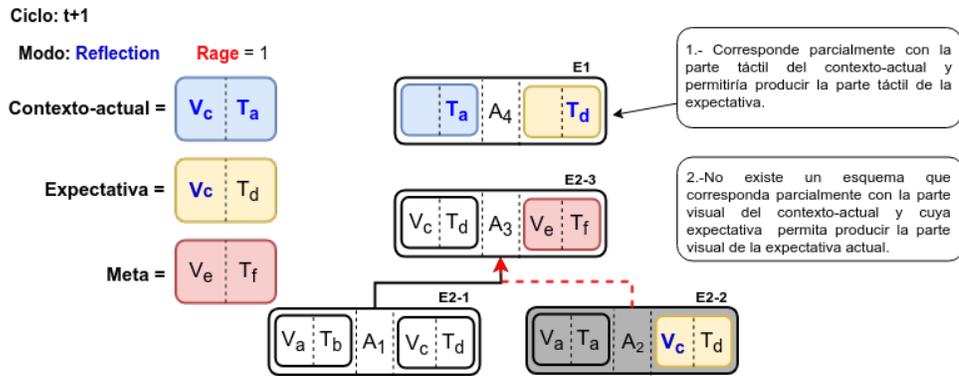


Figura 6.8: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

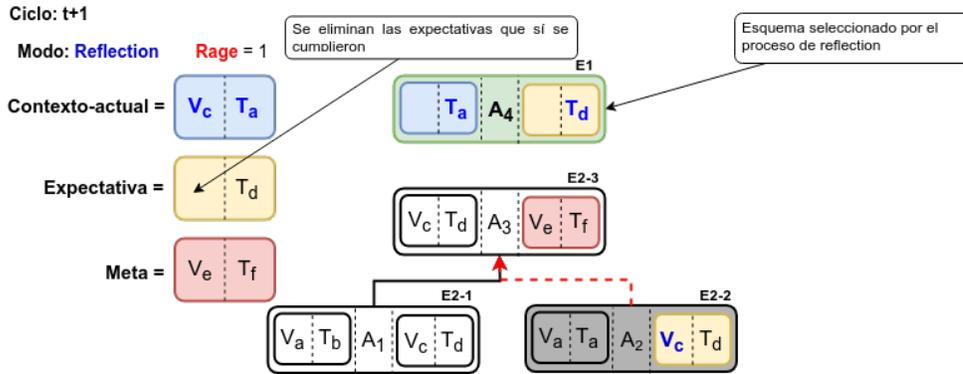


Figura 6.9: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

proceso:

1. Al entrar en *Engagement* encuentra una correspondencia exacta entre el contexto-actual y el contexto del esquema *E2-2* por lo que lo selecciona para su ejecución.
2. Se registra la expectativa del esquema *E2-2*.
3. Como el esquema *E2-2* es parte de un esquema arborescente, se establece la expectativa del esquema raíz como meta.

Ciclo t+3 (figura 6.12): El módulo de emociones dispara *joy* debido a que se ha alcanzado la meta

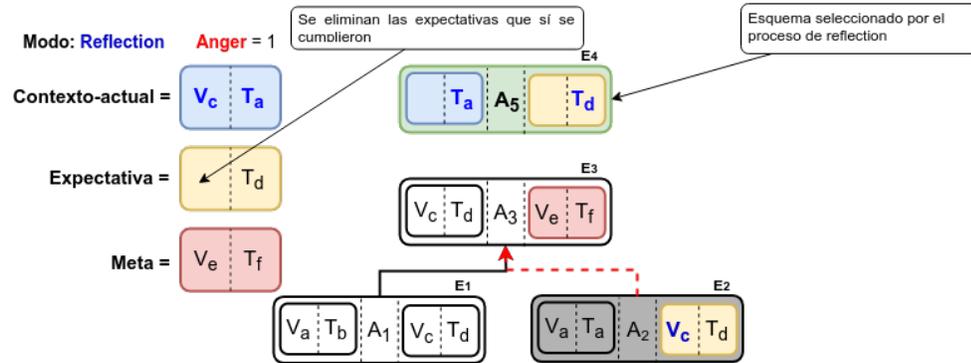


Figura 6.10: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

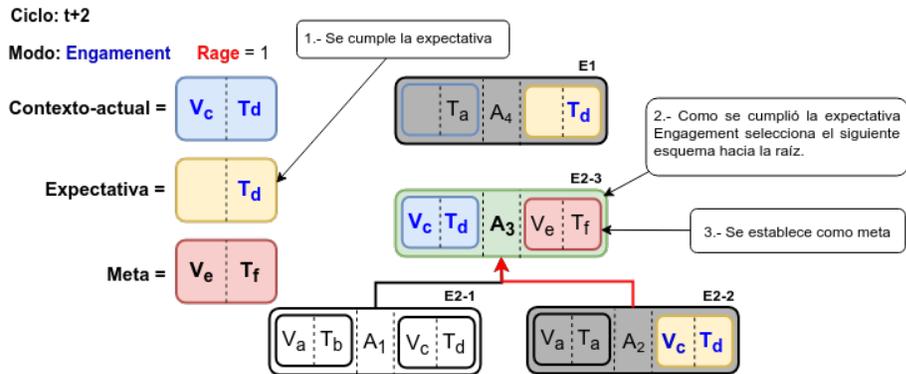


Figura 6.11: Correspondencia cuando existe una meta establecida. En verde los esquemas que permiten llegar del contexto-actual a la meta.

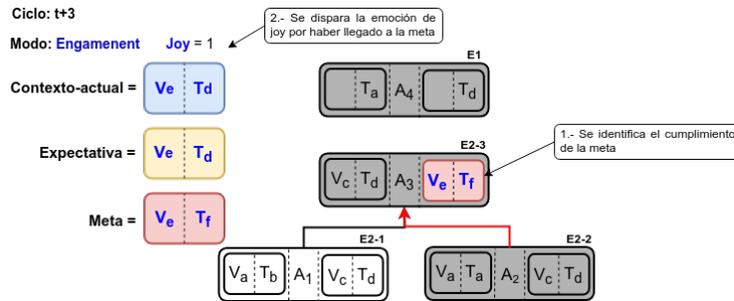


Figura 6.12: Disparo de joya al alcanzar la meta.

Experimentos y resultados

Para probar el modelo *iDev E-R*, se diseñaron cuatro situaciones a las que el agente Jacub se debía enfrentar haciendo uso de sus nuevas capacidades emocionales y de adaptación. En este capítulo, primeramente se describe el conocimiento y configuraciones iniciales del agente, y en seguida se describen los nuevos comportamientos desarrollados por éste.

7.1. Conocimiento y configuraciones iniciales

Para las pruebas se inicializó a Jacub con el conocimiento desarrollado en las dos versiones previas al trabajo que aquí se presenta. En otras palabras, se partió del desarrollo cognitivo alcanzado por Jacques (ver sección 4.6). Para usar la base de conocimiento de Jacques fue necesario su reestructuración usando el formato JSON establecido para los esquemas en esta nueva versión. En el anexo A se incluye la base de conocimiento inicial de Jacub. Ésta base constaba de 7 esquemas básicos que representan las habilidades y tendencias innatas (ver figura 7.1) y los esquemas aprendidos que corresponden a los siguientes comportamientos.

- Recuperar objetos en su campo de visión con movimientos de la cabeza.
- Recuperar su mano dentro del campo de visión con movimientos de la mano.
- Recuperar la percepción visual de un objeto que el agente está palpando.
- Tomar objetos que está viendo y palpando.
- Centrar en su campo de visión, mediante movimientos de cabeza, los objetos que ve, lo que se traduce en la habilidad de seguir visualmente a los objetos de interés.
- Centrar en su campo de visión los objetos que ve mediante movimientos de cabeza.

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

- Centrar su mano con movimientos de la mano.
- Centrar su mano con movimientos de cabeza y mano.
- Recuperar y centrar un objeto de interés que ha perdido.
- Recupera visualmente un objeto que palpa, hasta agarrarlo y llevarlo al centro de su campo de visión.

Esquema	Descripción
<pre>{ "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}], "actions": ["random"], }</pre>	Esquema básico de tanteo para recuperar un objeto de interés cuando se deja de percibir.
<pre>{ "context": [{"contentment":1,"texture":"*","hand":"open"}], "actions": ["closeHand"], }</pre>	Comportamiento reflejo de cerrar la mano en cuanto ésta entra en contacto con un objeto.
<pre>{ "context": [{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}], "actions": ["engageToV"] }</pre>	Tendencia a preservar los estímulos visuales agradables..
<pre>{ "context": [{"contentment":1,"texture":["*","hand":"*"}], "actions": ["engageToT"] }</pre>	<input type="checkbox"/> Tendencia a preservar los estímulos táctiles agradables.
<pre>{ "context": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}], "actions": ["changeEngagementToV"] }</pre>	Tendencia a cambiar de contexto visual atendido en cuanto se alcanza un estímulo máximo.
<pre>{ "context": [{"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}], "actions": ["changeEngagementToT"] }</pre>	Tendencia a cambiar de contexto táctil atendido en cuanto se alcanza un estímulo máximo.
<pre>{ "context": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}], "actions": ["engageToV"] }</pre>	Tendencia a mostrar interés por los objetos visuales ubicados en el centro de su campo de visión.

Figura 7.1: Esquemas básicos con los que se inicializó Jacub.

Jacub se inició con las siguientes capacidades motrices:

- Mover el brazo izquierdo

7.2 Surgimiento de prensión y centrado en el campo de visión, de lo que está viendo y probablemente tocando

- Abrir y cerrar la mano izquierda
- Mover la cabeza 15 grados en cada movimiento: arriba, abajo, izquierda, derecha, izquierda-arriba, derecha-arriba, izquierda-abajo, derecha-abajo.

Las capacidades perceptuales con las que se inicializó Jacub fueron:

- Reconocer cuatro colores: rojo, azul, amarillo y blanco
- Reconocer 2 tamaños: $s1$ y $s2$
- Reconocer una textura: $t1$

Además se inicializó con las siguientes capacidades cognitivas:

- Engancharse visualmente o táctilmente a un objeto mediante la ejecución de las acciones internas de *engageToV* o *engageToT* respectivamente.
- Engancharse visualmente o táctilmente a un objeto distinto del que se encuentra actualmente enganchado sensorialmente mediante la ejecución de las acciones internas de *changeEngagementToV* o *changeEngagementToT* respectivamente.

En las siguientes secciones se describen los nuevos comportamientos desarrollados por el agente en esta nueva versión.

7.2. Surgimiento de prensión y centrado en el campo de visión, de lo que está viendo y probablemente tocando

Al colocar al agente Jacub en una situación en la que se encuentra tocando un objeto con la mano abierta y viendo un objeto amarillo en la periferia de su campo de visión, se pudo observar la creación de un nuevo esquema para centrar visualmente el objeto. El predecesor de Jacub solamente sabía centrar visualmente un objeto cuando éste salía de su campo de visión. El esquema desarrollado por Jacques en este caso le permite centrar visualmente el objeto siempre que este se encuentre dentro de su campo de visión. A continuación se describe paso a paso el surgimiento de este comportamiento en el la situación particular en la que se han colocado sobre la mesa dos objetos, uno de color “c3” (amarillo) y otro de color “c2” (rojo), los cuales se encuentran dentro de su campo de visión y el objeto rojo en contacto con su mano (figura 7.2).

Ciclo 1: Jacub atiende visualmente un objeto amarillo en el sector 4 de su campo de visión, y táctilmente atiende un objeto de textura “t1” que está

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

en contacto con su mano abierta (figura 7.2)

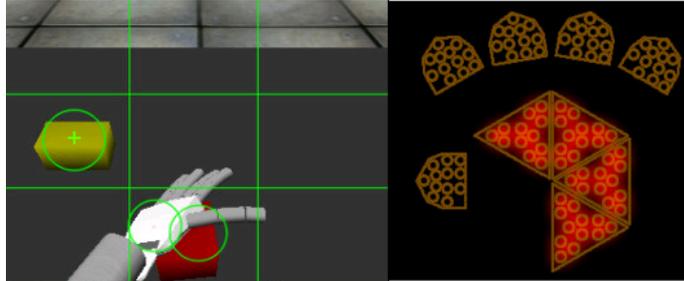


Figura 7.2: Jacub atiende visualmente un objeto amarillo en el sector 4, mientras toca con la palma de la mano el objeto rojo de textura t1

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":1,"color":"c3","size":"s1","sector":"4","moving":false},
{"contentment":1,"hand":"open","texture":"t1"}
]
```

(2) *iDev E-R* encuentra que el esquema 24 tiene correspondencia exacta con el contexto actual.

```
{
  "id":24,
  "equilibrated":true,
  "context":[
    {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["engageToV","closeHand"],
  "expected":[
    {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ]
}
```

(3) Ejecuta las acciones “engageToV” y “closeHand”, lo que provoca que el agente se enganche visualmente con el objeto amarillo y agarre el objeto rojo (figura 7.3).

Ciclo 2: Se encuentra enganchado visualmente al objeto amarillo y con la mano cerrada agarra el objeto rojo (figura 7.3)

7.2 Surgimiento de presión y centrado en el campo de visión, de lo que está viendo y probablemente tocando

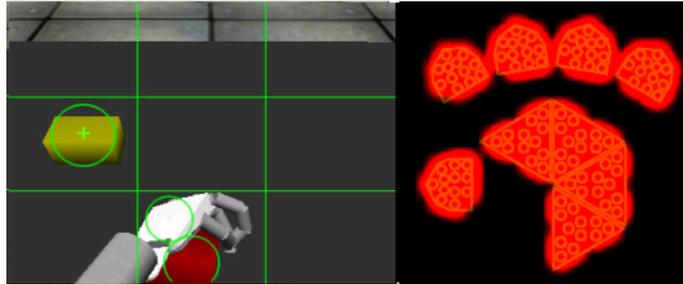


Figura 7.3: Jacob se encuentra enganchado visualmente al objeto amarillo, mientras agarra el objeto rojo.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":1,"color":"c3","size":"s1","sector":"4","moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) *iDev E-R* no encuentra una correspondencia exacta con ningún esquema, pero encuentra que el esquema 28 es la mejor correspondencia parcial con el contexto-actual-visual:

```
{
" id":28,
" equilibrated":true,
" context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
" actions":["headLeft"],
" expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
}
```

y el esquema 6 la mejor correspondencia parcial con el contexto-actual-táctil:

```
{
" id":6,
" equilibrated":true,
" context":[{"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}],
" actions":["changeEngagementT"]
}
```

Por lo tanto, combina ambos esquemas para obtener el esquema a ejecutar:

```
{
" context": [
  {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {"contentment":2,"
    texture":"*","hand":"*"}
],
" actions":["headLeft","changeEngagementT"],
" expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
}
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

(2) Establece como expectativa:

```
[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
```

(3) Ejecuta las acciones “headLeft” y “changeEngagementT”, lo que ocasiona que centre visualmente el objeto amarillo y mantenga la mano cerrada (figura 7.4).

Ciclo 3: El agente tiene centrado visualmente el objeto amarillo y mantiene agarrado el objeto rojo (figura 7.4)

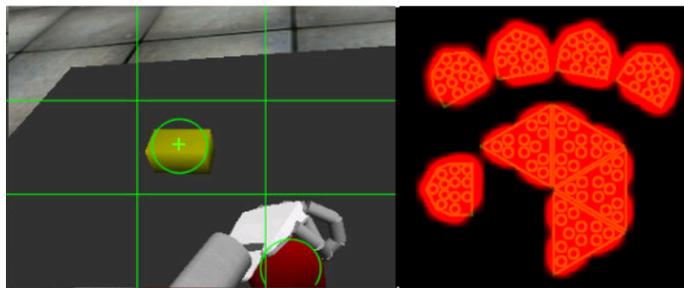


Figura 7.4: Jacub mantiene agarrado el objeto rojo y centrado visualmente el objeto amarillo

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[  
{"contentment":2,"color":"c3","size":"s1","sector":5,"moving":false},  
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}  
]
```

(2) El módulo de emociones dispara sorpresa cognitiva ya que obtuvo una respuesta emocional mayor a la que esperaba: no esperaba una respuesta emocional en el contexto-táctil.

(3) *iDev E-R* detecta la sorpresa cognitiva, a la que responde creando un nuevo esquema a partir de la secuencia de esquemas almacenados en la memoria a corto plazo:

```
{  
"id":113,  
"equilibrated":false,  
"context":[  
{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"},  
{"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}  
],  
"actions":["headLeft","changeEngagementT"],  
"expected":[  
{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"},
```

7.3 Automatización de comportamientos representados por esquemas con profundidad mayor que uno

```
{ "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
],
"children": [{
  "context": [
    { "contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "4", "moving": "*" },
    { "contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*" }
  ],
  "actions": [ "engageToV", "closeHand" ],
  "expected": [
    { "contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "4", "moving": "*" },
    { "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
  ]
}]
}
```

El esquema anterior es guardado en la base de conocimiento permanente con un id 113, por lo que ahora, cuando el agente atienda visualmente un objeto de cualquier color en el sector 4 y también esté tocando algo con la mano abierta, será capaz de centrar en el campo de visión el objeto que está viendo, y al mismo tiempo agarrar el que está tocando. Como se mencionó anteriormente, el objeto que ve y el que toca no necesariamente son el mismo. Mas adelante (sección 7.6) se describirá el surgimiento de un esquema que le permitirá a Jacub centrar visualmente el objeto que está tocando.

7.3. Automatización de comportamientos representados por esquemas con profundidad mayor que uno

Por automatización de comportamientos nos referimos a la compactación de toda una rama de un esquema arborescente, en un solo esquema de profundidad 1 (como se explicó en la sección 6.2). La compactación de esquemas permitirá que comportamientos complejos que requieren más de un ciclo para realizarse puedan ejecutarse en un solo ciclo. En este sentido, se puede decir que los comportamientos asociados a los esquemas compactados son más eficientes cognitivamente hablando. Esto permite que se puedan descubrir nuevas relaciones de causa y efecto, que antes eran imposibles de detectar debido a que toda la rama antes de la compactación ocupaba toda la capacidad de la memoria de trabajo.

Para promover la automatización de todos los esquemas arborescentes de altura mayor a uno (esquemas 113, 110, 107, 104, 101, 98, 95, 92, 89, 86, 83, 80, 77, 75, 73, 71, 69, 67, 65, 63, 61, 59, 57, 55, 53, 51, 49, 47, 45, 43, 41, 39 y 37), se colocó al agente en las situaciones correspondientes a los contextos de sus esquemas hoja (ver sección 6.3). De esta forma, con las modificaciones realizadas al proceso de *Engagement*, cada vez que el agente se encuentre en la situación descrita en el contexto de un esquema hoja, éste se establecerá como meta la expectativa de su correspondiente esquema raíz. Lo que se observó de estos experimentos fue que, debido al conocimiento adquirido en

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

las versiones anteriores, el agente lograba producir el contexto que se establecía como meta, causando que por primera vez se disparara la emoción de *joy*. Esta emoción, al ser detectada por *iDev E-R*, provocó que se compactara la secuencia de esquemas ejecutados, en uno nuevo de profundidad uno.

A continuación se muestra un ejemplo paso a paso de cómo se automatizó el comportamiento descrito en la sección 7.2. Para promover su automatización se colocó a Jacob en una situación en la que se enganche visualmente a un objeto rojo en el sector 4 de su campo de visión, el cual también esté tocando con la mano abierta (figura 7.5).

Ciclo 1: Atiende visualmente un objeto rojo y táctilmente un objeto con textura “t1” (figura 7.5)

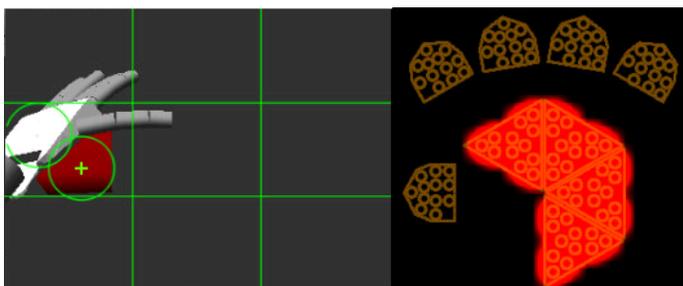


Figura 7.5: Jacob atiende visualmente el objeto rojo en el sector 4 mientras lo toca con la mano abierta.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[{"contentment":1,"color":"c2","size":"s1","sector":4,"moving":false},
{"contentment":1,"hand":"open","texture":"t1"}]
```

(2) *iDev E-R* encuentra que el esquema 114, el cual es una hoja del esquema 113, tiene correspondencia exacta con el contexto actual.

```
{ "id":113,
  "equilibrated":true,
  "context":[
    {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["headLeft","engageToT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "children":[{
    "id":114,
    "equilibrated":true,
```

7.3 Automatización de comportamientos representados por esquemas con profundidad mayor que uno

```
"context": [
  {"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"},
  {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}
],
"actions": ["engageToV", "closeHand"],
"expected": [
  {"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"},
  {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
]
}]
```

Como expectativa se establece:

```
[
{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"},
{"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
]
```

Como meta se establece:

```
[
{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
{"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
]
```

(3) Se ejecutan las acciones “engageToV”, “closeHand”, lo que resulta en que Jacob agarre el objeto rojo (figura 7.6).

Ciclo 2: El agente está viendo y agarrando el objeto rojo (figura 7.6)

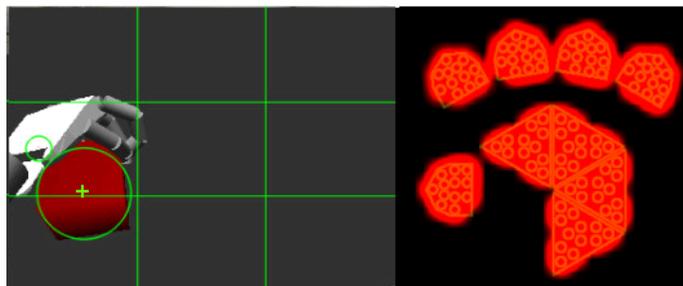


Figura 7.6: Jacob se mantiene enganchado visualmente al objeto rojo mientras lo agarra.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
[
{"contentment":1,"color":"c2","size":"s1","sector":4,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) *iDev E-R* detecta que se cumplieron las expectativas por lo cual selecciona el ancestro inmediato del esquema 114, es decir el esquema 113.

```
{
  "id":113,
  "equilibrated":true,
  "context":[
    {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["headLeft","engageToT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ]
  "children":[{"
    "id":114,
    "equilibrated":true,
    "context":[
      {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"},
      {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}
    ],
    "actions":["engageToV","closeHand"],
    "expected":[
      {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"},
      {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
    ]
  }]
}
```

Como expectativa ahora se establece:

```
[
{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]
```

La meta sigue siendo:

```
[
{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]
```

(3) Se ejecutan las acciones “headLeft” y “engageToT”, lo cual ocasiona que mantenga el objeto rojo agarrado y éste quede en el centro del campo de visión (figura 7.7).

Ciclo 3: El agente tiene agarrado y centrado en el campo de visión el objeto rojo (figura 7.7)

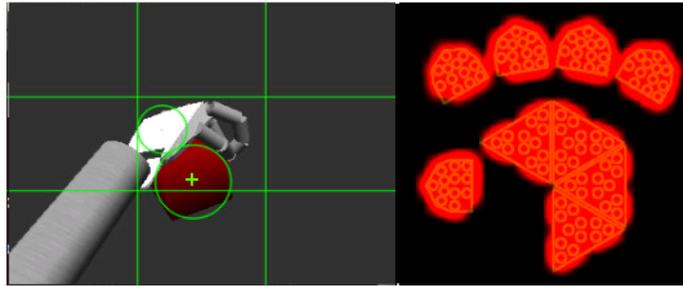


Figura 7.7: Jacob tiene visualmente centrado el objeto rojo mientras lo mantiene agarrado.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c2","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2, "hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) El módulo de emociones detecta que se ha producido el contexto establecido como meta y dispara la emoción de *joy*, con intensidad 1.

(2) Antes de entrar a modo *Engagement*, *iDev E-R* detecta *joy* y, ayudándose del contenido de la memoria a corto plazo, combina la secuencia de esquemas ejecutados anteriormente en el nuevo esquema compactado:

```
{
" id":115,
" context": [
    {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"},
    {"contentment":1, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
" actions":["engageToV", "closeHand", "headLeft", "engageToT"],
" expected": [
    {"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":5,"moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ]
}
```

Este nuevo esquema se guarda en la base de conocimiento con id 115, por lo que ahora el agente podrá centrar un objeto que esté tocando y esté viendo en el sector 4 de su campo de visión, cerrando la mano y moviendo la cabeza a la izquierda, todo en un mismo ciclo.

7.4. Surgimiento de mirada alternada parcial en el centro del campo de visión

A continuación se describe paso a paso cómo Jacub aprendió a alternar su atención visual entre dos objetos localizados en el centro de su campo de visión, uno de los cuales es su mano. Jacub aprendió este comportamiento al encontrarse en una situación en la que se ha enganchado visualmente a un objeto rojo en el sector 4 de su campo de visión, el cual también está tocando con la mano abierta (figura 7.8).

Ciclo 1: Atiende visualmente un objeto rojo, mientras lo toca con la mano abierta (figura 7.8)

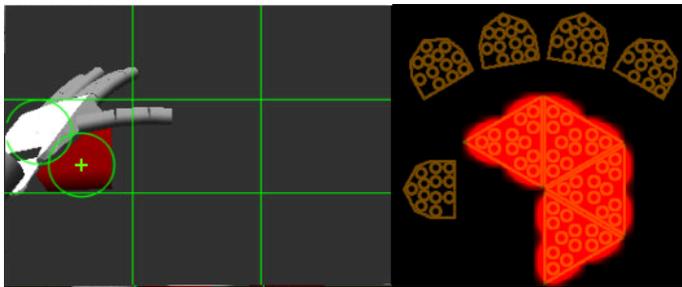


Figura 7.8: Jacub atiende visualmente el objeto rojo en el sector 4 mientras lo toca con la mano abierta.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[{"contentment":1,"color":"c2","size":"s1","sector":4,"moving":false},
{"contentment":1,"hand":"open","texture":"t1"}]
```

(2) *iDev E-R* encuentra que el esquema 115 (cuyo surgimiento se describió en la sección 7.3) corresponde exactamente con el contexto actual.

```
{ "id":115,
  "context": [
    {"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"},
    {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions": ["engageToV","closeHand","headLeft","engageToT"],
  "expected": [
    {"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":5,"moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ]
}
```

7.4 Surgimiento de mirada alternada parcial en el centro del campo de visión

Como expectativa se establece:

```
[
{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":5,"moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
]
```

(3) Se ejecutan las acciones “engageToV”, “closeHand”, “headLeft”, “engageToT”, lo que da como resultado que Jacob agarre el objeto rojo y lo centre (figura 7.9).

Ciclo 2: Atiende visualmente un objeto rojo que se encuentra en el centro de su campo de visión, el cual también está agarrando (figura 7.9).

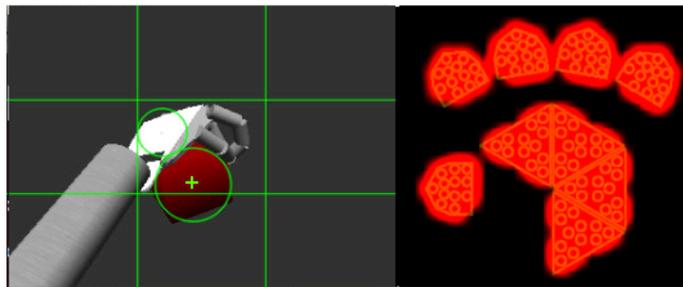


Figura 7.9: Jacob atiende visualmente un objeto rojo en el centro de su campo de visión, mientras lo toca con la mano abierta.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c2","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) *iDev E-R* no encuentra un esquema cuyo contexto corresponda exactamente al contexto-actual, pero encuentra una correspondencia parcial con el contexto-visual del esquema 5:

```
{
" id":5,
"equilibrated":true,
"context": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}],
"actions":["changeEngagementV"]
}
```

y con el contexto-táctil del esquema 6:

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
{
  "id": 6,
  "equilibrated": true,
  "context": [{}, {"contentment": 2, "texture": "*", "hand": "*"}],
  "actions": ["changeEngagementT"]
}
```

Los cuales combina en el esquema a ejecutar:

```
{ "context": [
  {"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
  {"contentment": 2, "texture": "*", "hand": "*"}
],
  "actions": ["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
  "expected": []
}
```

(3) Se ejecutan las acciones mentales “changeEngagementV” y “changeEngagementT”, lo cual provoca que en el siguiente ciclo Jacub se enganche visualmente a su mano (cambio de objeto atendido), mientras sigue agarrando el mismo objeto (figura 7.10).

Ciclo 3: Jacub se engancha visualmente a la imagen de su mano y mantiene agarrado el objeto rojo (figura 7.10)

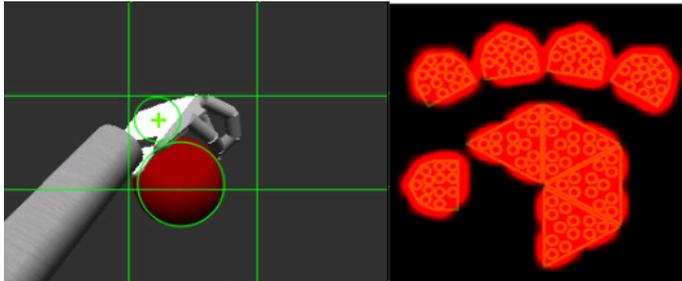


Figura 7.10: Jacub atiende visualmente su mano y mantiene agarrado el objeto rojo

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
  {"contentment": 2, "color": "c1", "size": "s1", "sector": 5, "moving": false},
  {"contentment": 2, "hand": "closed", "texture": "t1"}
]
```

(2) El módulo de emociones dispara sorpresa ya que cambió de contexto pero conservó la emoción de *contentment* visual con la misma intensidad, lo cual no esperaba.

(3) Antes de entrar en modo *Engagement*, *iDev E-R* detecta la emoción de sorpresa y crea un nuevo esquema a partir del contenido de la memoria a corto plazo.

```
{
  "id":116,
  "equilibrated":false,
  "context":[
    {"contentment":2,"color":"a","size":"*","sector":*,"moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"b","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "children":[{"
    "id":117,
    "equilibrated":true,
    "context":[
      {"contentment":1,"color":"a","size":"*","sector":6,"moving":"*"},
      {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}
    ],
    "actions":["showInterestInV","closeHand","headRight","showInterestInT"],
    "expected":[
      {"contentment":2,"color":"a","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
      {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
    ]
  }]
}
```

(4) *iDev E-R* no encuentra un esquema hoja cuyo contexto corresponda exactamente al contexto-actual, pero encuentra una correspondencia parcial con el contexto-visual del esquema 5:

```
{
  "id":5,
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}],
  "actions":["changeEngagementV"]
}
```

y con el contexto-táctil del esquema 6:

```
{
  "id":6,
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}],
  "actions":["changeEngagementT"]
}
```

Los cuales combina en el esquema a ejecutar:

```
{"context": [
  {"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}
],
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
"actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
"expected":[]
}
```

(5) Se ejecutan las acciones mentales “changeEngagementV” y “changeEngagementT”, lo cual provoca que en el siguiente ciclo Jacub cambie su atención visual al objeto rojo, mientras conserva el objeto que tiene en la mano (figura 7.11).

Ciclo 4: Atiende visualmente el objeto rojo, mientras lo mantiene agarrado (figura 7.11).

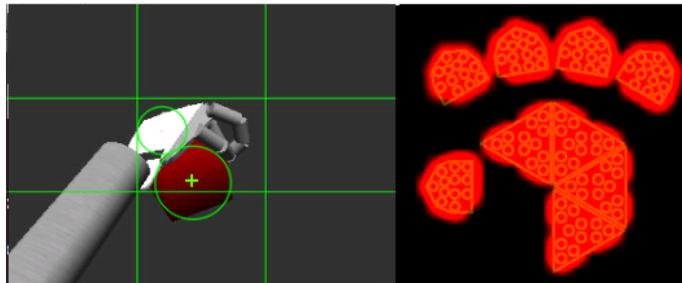


Figura 7.11: Jacub atiende visualmente el objeto rojo, mientras lo mantiene agarrado

(1) Jacub construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c2","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) El módulo de emociones dispara sorpresa ya que cambió de contexto pero conservó la emoción de *contentment* con la misma intensidad.

(3) *iDev E-R* antes de entrar en modo *Engagement* detecta la emoción de sorpresa y crea un nuevo esquema a partir del contenido de la memoria a corto plazo.

```
{
" id":118,
" equilibrated":false,
" context":[
  {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
],
" actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
" expected":[
  {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
],
}
```

```

"children": [{
  "id": 119,
  "equilibrated": false,
  "context": [
    {"contentment": 2, "color": "$1", "size": "*", "sector": *, "moving": "*"},
    {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
  ],
  "actions": ["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
  "expected": [
    {"contentment": 2, "color": "$2", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
    {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
  ],
  "children": [{
  "id": 120,
  "equilibrated": true,
  "context": [
    {"contentment": 1, "color": "$1", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"},
    {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}
  ],
  "actions": ["showInterestInV", "closeHand", "headRight", "showInterestInT"],
  "expected": [
    {"contentment": 2, "color": "$1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
    {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
  ]
}]
}]
}

```

(4) *iDev E-R* verifica que las expectativas de todos los esquemas del árbol sean diferentes. En este caso no son diferentes las del esquema 120 y las del esquema 118. Por lo tanto, las modifica con la información de los contextos actuales que lo llevaron a la situación actual, de tal forma que difieran las expectativas de los dos esquemas, y que al mismo tiempo la expectativa del esquema 119 asegure la correspondencia con el contexto del esquema 118.

En este caso no puede hacerlo, así que crea dos esquemas: uno que vaya del esquema 120 al 119, y otro que vaya del esquema 119 al esquema 118. El primer esquema ya existe, por lo que sólo agrega el segundo:

```

{
  "id": 118,
  "equilibrated": false,
  "context": [
    {"contentment": 2, "color": "$2", "size": "*", "sector": *, "moving": "*"},
    {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
  ],
  "actions": ["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
  "expected": [
    {"contentment": 2, "color": "$1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
    {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
  ],
  "children": [{

```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
"id":119,
"equilibrated":false,
"context":[
  {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":*,"moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
],
"actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
"expected":[
  {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]]
}
```

Este nuevo esquema se guarda en la base de conocimiento de forma permanente, por lo que ahora Jacob sabe cómo alternar su atención visual entre dos objetos posicionados en el centro de su campo visual.

7.5. Surgimiento de mirada alternante total en el centro del campo de visión

A continuación se describe paso a paso cómo Jacob aprendió a alternar su atención visual entre dos objetos localizados en el centro de su campo de visión, uno de los cuales es su mano. Jacob aprendió éste comportamiento al encontrarse en una situación en la que está atendiendo su mano en el centro del campo de visión, la cual está abierta y está tocando un objeto rojo.

Ciclo 1: Atiende visualmente un objeto rojo que se encuentra en el centro de su campo de visión, el cual también está agarrando.

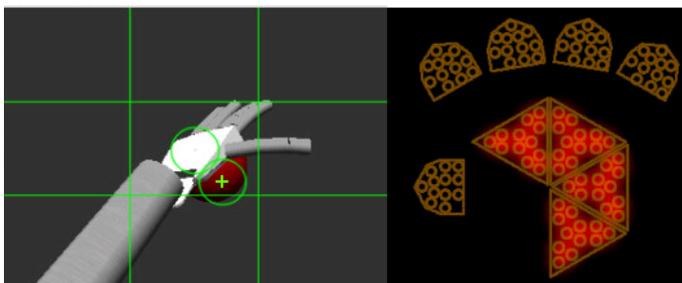


Figura 7.12: Jacob atendiendo visualmente el objeto rojo, mientras lo toca con la palma de la mano

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c2","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) *iDev E-R* no encuentra un esquema cuyo contexto corresponda exactamente al contexto-actual, pero encuentra una correspondencia parcial con el contexto-visual del esquema 5:

```
{
" id":5,
" equilibrated":true,
" context":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}],
" actions":["changeEngagementV"]
}
```

y una correspondencia parcial con el contexto-táctil del esquema 6:

```
{
" id":6,
" equilibrated":true,
" context":[{} , {"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}],
" actions":["changeEngagementT"]
}
```

Los cuales combina en el esquema

```
{" context":[{"
    {"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}
  ] ,
" actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
" expected":[]
}
```

(3) Se ejecutan las acciones mentales “changeEngagementV” y “changeEngagementT”, lo cual provoca que en el siguiente ciclo se enganche visualmente a su mano, mientras sigue agarrando el objeto rojo (figura 7.13).

Ciclo 2: Jacub se engancha visualmente a la imagen de su mano y mantiene agarrado el objeto (figura 7.13)

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c1","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

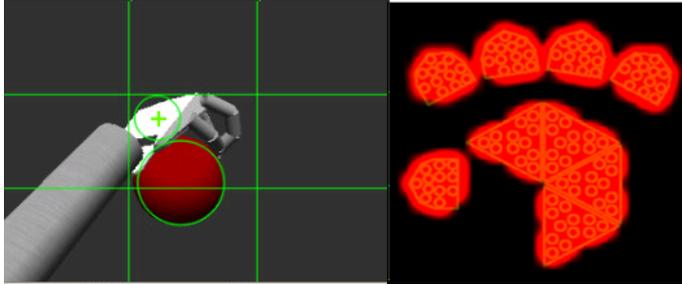


Figura 7.13: Jacub atendiendo visualmente su mano, mientras mantiene el objeto rojo agarrado.

(2) El módulo de emociones dispara sorpresa ya que cambió de contexto pero conservó la emoción de *contentment* visual con la misma intensidad, lo cual no esperaba.

(3) *iDev E-R*, antes de entrar en modo *Engagement*, detecta la emoción de sorpresa y crea un nuevo esquema a partir del contenido de la memoria a corto plazo.

```
{ "id": 5,
  "equilibrated": true,
  "context": [ { "contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" }, {} ],
  "actions": [ "changeEngagementV" ] }
```

```
{
  "id": 118,
  "equilibrated": false,
  "context": [
    { "contentment": 2, "color": "$2", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" },
    { "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
  ],
  "actions": [ "changeEngagementV", "changeEngagementT" ],
  "expected": [
    { "contentment": 2, "color": "$1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" },
    { "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
  ],
  "children": [ {
    "id": 119,
    "equilibrated": false,
    "context": [
      { "contentment": 2, "color": "$1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" },
      { "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
    ],
    "actions": [ "changeEngagementV", "changeEngagementT" ],
    "expected": [
      { "contentment": 2, "color": "$2", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" },
      { "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
    ],
    "children": [ {
      "id": 120,
      "equilibrated": true,
      "context": [
        { "contentment": 1, "color": "$1", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*" },
        { "contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*" }
      ]
    }
  ]
}
```

```

    ],
    "actions": ["engageToV", "closeHand", "headRight", "engageToT"],
    "expected": [
      {"contentment": 2, "color": "$1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
      {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}
    ]
  }
}
}

```

Los cuales combina en el esquema:

```

{"context": [
  {"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"},
  {"contentment": 2, "texture": "*", "hand": "*"}
],
"actions": ["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
"expected": []}

```

Se ejecutan las acciones mentales “changeEngagementV”, “changeEngagementT”, las cuales provocan que se vuelva a enganchar visualmente con el objeto rojo (figura 7.14).

Ciclo 3: Jacub vuelve a engancharse visualmente con el objeto rojo, mientras conserva el objeto agarrado (figura 7.14).

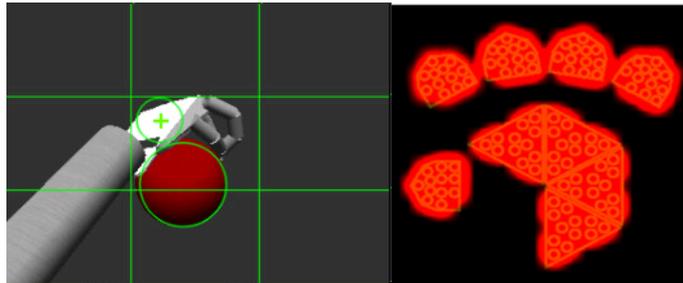


Figura 7.14: Jacub se engancha visualmente con el objeto rojo, mientras lo conserva agarrado.

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```

[{"contentment": 2, "color": "c2", "size": "s1", "sector": 5, "moving": false},
{"contentment": 2, "hand": "closed", "texture": "t1"}]

```

(2) El módulo de emociones dispara sorpresa (porque conservó el placer, pero cambió el contexto y no lo esperaba).

Como expectativa ahora se establece:

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}]
```

(3) Antes de entrar en modo *engagement iDev E-R* detecta sorpresa, por lo que crea el siguiente esquema a partir del contenido de la memoria de trabajo:

```
{
  "id": "118",
  "equilibrated": false,
  "context": [{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":*,"moving":"*"},
  {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}]
  "children": [{"
    "id": "119",
    "equilibrated": false,
    "context": [{"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":*,"moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}],
    "actions": ["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
    "expected": [{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}]
  }]
}
```

7.6. Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

En este último experimento, colocamos al agente Jacub en una situación en la que está tocando con la mano abierta un objeto rojo que se encuentra en el área 8 de su campo de visión, mientras atiende visualmente un objeto amarillo (“c3”) que se encuentra en el área 6 de su campo de visión. Es decir, se encuentra en una situación en la que lo que está atendiendo visualmente no corresponde a lo que está tocando. A continuación se describe el paso a paso de cómo el agente desarrolló un esquema que le permite agarrar y centrar en su campo de visión el objeto que realmente está tocando.

Ciclo 1: Jacub se engancha visualmente con el objeto amarillo y táctilmente con el objeto rojo con textura “t1” (figura 7.15).

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

7.6 Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

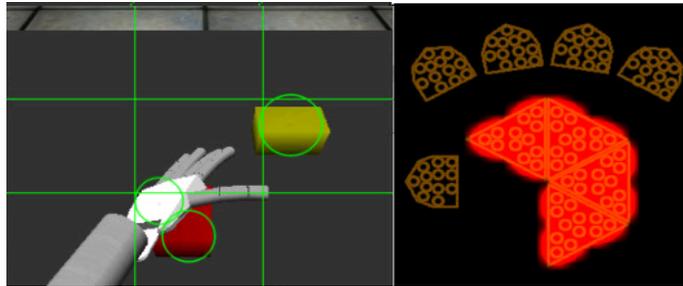


Figura 7.15: Jacub está enganchado visualmente al objeto amarillo en el sector 6 y táctilmente con el objeto rojo con textura "t1"

```
[  
{"contentment":1,"color":"c3","size":"s1","sector":6,"moving":false},  
{"contentment":1,"hand":"open","texture":"t1"}  
]
```

(2) *iDev E-R* encuentra que el mejor esquema cuyo contexto corresponde exactamente con el contexto-actual es el esquema 117, que es una hoja del esquema 116, el cual se muestra a continuación:

```
{  
  "id":116,  
  "equilibrated":false,  
  "context":[  
    {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":*,"moving":"*"},  
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}  
  ],  
  "actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],  
  "expected":[  
    {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},  
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}  
  ]  
  "children":[{"  
    "id":117,  
    "equilibrated":true,  
    "context":[  
      {"contentment":1,"color":"$1","size":"*","sector":6,"moving":"*"},  
      {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}  
    ],  
    "actions":["engageToV","closeHand","headRight","engageToT"],  
    "expected":[  
      {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},  
      {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}  
    ]  
  }  
]
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

iDev E-R instancia en la expectativa la variable correspondiente al color ($\$1$) como “*c3*”, es decir amarillo, por lo que la expectativa es:

```
[
{"contentment":2,"color":"c3","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]
```

Como meta establece:

```
[
{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]
```

(3) Se ejecutan las acciones “engageToV”, “closeHand”, “headRight” y “engageToT”, lo cual provoca que Jacub centre el objeto amarillo y agarre el objeto rojo (figura 7.16).

Ciclo 2: Jacub tiene centrado en el campo de visión el objeto amarillo, mientras agarra el objeto rojo (figura 7.16)

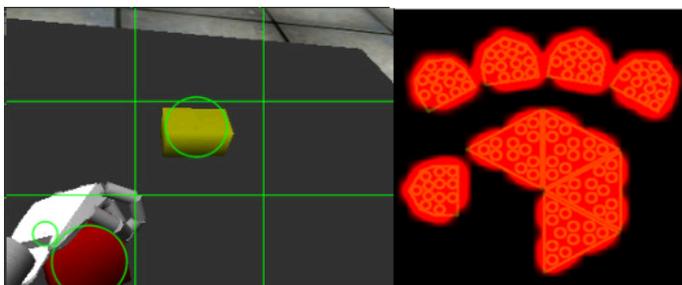


Figura 7.16: El objeto amarillo se encuentra en el centro del campo de visión y el objeto rojo sujeto con la mano cerrada

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c3","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) *iDev E-R* detecta que las expectativas se cumplieron, por lo que selecciona al ancestro del esquema 117, es decir el esquema 116:

7.6 Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

```
{
  "id":116,
  "equilibrated":false,
  "context":[
    {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ]
}
children:[{
  "id":117,
  "equilibrated":true,
  "context":[
    {"contentment":1,"color":"$1","size":"*","sector":6,"moving":"*"},
    {"contentment":1, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["engageToV", "closeHand", "headRight", "engageToT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ]
}]
}
```

Establece como expectativa:

```
[
{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
]
```

Como meta se mantiene:

```
[
{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
]
```

Además, establece que el valor de la variable $\$2$, tanto en la expectativa como en la meta, puede ser cualquier color menos $c3$, es decir, espera que después de ejecutar el esquema, el objeto en el centro del campo de visión no sea amarillo.

(3) Ejecuta las acciones de *changeEngagementV* y *changeEngagementT*, lo cual provocará que en el siguiente ciclo se enganche visualmente con su mano (figura 7.17).

Ciclo 3: No se alcanza la meta, y el agente experimenta por primera vez la

emoción de *rage* (figura 7.17)

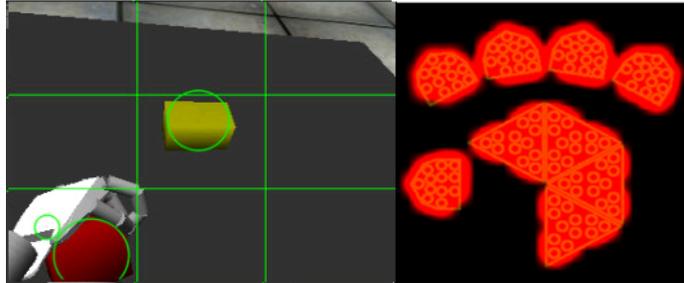


Figura 7.17: Jacub atiende visualmente la imagen de su mano, mientras mantiene sujeto el objeto rojo

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":1,"color":"c2","size":"s1","sector":"7","moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

Esta situación difiere de la expectativa; se esperaba un objeto distinto al objeto amarillo, pero que también estuviera en el centro del campo de visión (visión alternada), sin embargo esto no ocurre. En cambio, se encuentra sí con un objeto de color distinto (su mano), pero que no está en el centro del campo de visión, es decir la emoción de contentment disminuye de 2 a 1.

(2) El módulo de emociones detecta que las expectativas no fueron alcanzadas, y por lo tanto no puede continuar hacia la meta y dispara la emoción de *rage* con intensidad 1.

(3) *iDev E-R* entra en modo *Engagement* y detecta la emoción de *rage*, por lo que trata de encontrar algún esquema hoja que tenga correspondencia exacta o parcial con el contexto de algún esquema cuya expectativa de la raíz coincida con la meta actual. En este caso no encuentra ningún esquema, por lo que entra en modo *Reflection*.

(4) En modo *Reflection*, *iDev E-R* modifica las expectativa actual de:

```
[
{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]
```

7.6 Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

a:

```
[
{"contentment":2,"color":"c1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
]
```

Es decir, en la expectativa se instancia el valor del color (§2) como *c1* (blanco) y vuelve a modo *Engagement*.

(3) En modo *Engagement*, *iDev E-R* sigue detectando la emoción de *rage*, por lo que tratará nuevamente de encontrar algún esquema hoja que tenga correspondencia exacta o parcial con el contexto de algún esquema cuya expectativa coincida con la meta actual. En este punto encuentra que los esquemas 3 y 30 corresponden parcialmente con el contexto-visual:

```
{
" id": "3",
" equilibrated": true,
" context": [{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"},{}],
" actions": ["engageToV"]
}
```

```
{
" id": "30",
" equilibrated": true,
" context": [{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":7,"moving":"*"}, {}],
" actions": ["headLeftDown"],
" expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
}
```

y el esquema 6 corresponde parcialmente con el contexto-actual-táctil:

```
{
" id": "6",
" equilibrated": true,
" context": [{} , {"contentment":2,"texture":"*","hand":"*"}],
" actions": ["changeEngagementT"]
}
```

Sin embargo, ninguna combinación de las expectativas de estos esquemas (uno visual y uno táctil) asegura que se cumpla la expectativa actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
]
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Es decir, dado el contexto-actual, el agente sabe cómo poder obtener el contexto:

```
{ "contentment": 2, "color": "c1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" }
```

pero no sabe cómo obtener el contexto:

```
{ "contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*" }
```

debido a esto, *iDev E-R* vuelve a entrar en modo *Reflection*.

(5) En modo *Reflection*, *iDev E-R* relaja la expectativa: borra el contexto que no sabe cómo obtener. Así, la expectativa queda como:

```
[  
  { "contentment": 2, "color": "$2", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" },  
  {}  
]
```

Después de modificar la expectativa, vuelve a entrar en modo *Engagement*.

(6) En modo *Engagement*, *iDev E-R* nuevamente encuentra que los esquemas 3 y 30 corresponden parcialmente con el contexto-actual-visual y el 6 corresponde parcialmente con el contexto-actual-táctil, por lo que hace una combinación del esquema 30 y 6 (dando prioridad al esquema 30 sobre el 3 por ser este último un esquema básico), lo cual posibilita el cumplimiento de la expectativa. De tal combinación se obtiene el esquema a ejecutar:

```
{  
  "context": [  
    { "contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*" },  
    { "contentment": 2, "hand": "closed", "texture": "t1" }  
  ],  
  "actions": [ "headLeftDown", "changeEngagementT" ],  
  "expected": [  
    { "contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" },  
    {}  
  ]  
}
```

(7) Ejecuta las acciones “headLeftDown” y “changeEngagementT”, lo que ocasiona que su mano quede centrada en el campo de visión (figura 7.19).

Ciclo 4: Jacub centra su mano en el campo de visión (figura 7.19)

7.6 Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

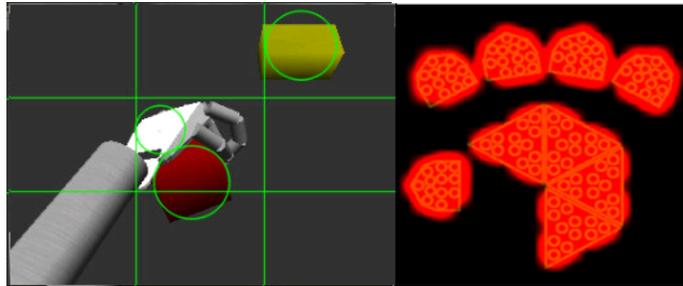


Figura 7.18: La imagen de la mano se encuentra en el centro del campo de visión, y con la mano tiene agarrado el objeto rojo

(1) El agente construye el siguiente contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c1","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) El módulo de emociones detecta que el contexto-actual es precisamente lo que esperaba obtener, y que además es el contexto que se había propuesto como meta. Como actualmente está activa la emoción de *rage*, pero ha logrado su meta, la emoción de *rage* se desactiva y en su lugar se activa la emoción de “joy” con una intensidad 2.

(3) Antes de entrar en modo *Engagement*, *iDev E-R* detecta la emoción de *joy* con intensidad 2 y crea con el contenido de la memoria a corto plazo un nuevo esquema que representa la forma en cómo resolvió la situación que le impedía llegar a la meta:

```
{
" id":200,
" equilibrated":true,
" context":[
  {"contentment":1,"color":"$2","size":"*","sector":7,"moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
],
" actions":["headLeftDown","changeEngagementT"],
" expected":[
  {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
],
" children":[{"
" id":201,
" equilibrated":false,
" context":[
  {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":*,"moving":"*"},
  {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
],
" actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
" expected":[
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
    {"contentment":1,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "children":[{"id":202,
    "equilibrated":true,
    "context":[
      {"contentment":1,"color":"$1","size":"*","sector":6,"moving":"*"},
      {"contentment":1, "hand":"*","texture":"*"}
    ],
    "actions":["engageToV", "closeHand","headRight", "engageToT"],
    "expected":[
      {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
      {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
    ]
  ]
}]
}
```

(4) Se eliminan las expectativas y la meta.

(5) En modo *Engagement*, *iDev E-R* encuentra una correspondencia exacta del contexto-actual con el esquema 119, el cual es hoja del esquema 118 (esquema para alternar la atención entre dos objetos en el centro del campo de visión).

```
{
  "id":118,
  "equilibrated":false,
  "context":[
    {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["changeEngagementV, changeEngagementT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "children":[{"id":119,
    "equilibrated":false,
    "context":[
      {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
      {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
    ],
    "actions":["changeEngagementV, changeEngagementT"],
    "expected":[
      {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
      {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
    ]
  ]
}]
}
```

Por lo tanto, establece como expectativa:

```
[
```

7.6 Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

```
[{"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}]
```

Como el esquema seleccionado (119) es parte de un esquema compuesto, entonces se establece como meta la expectativa del la raíz del esquema. Es decir, la meta se establece como:

```
[ {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"} ]
```

(6) Se ejecutan las acciones “changeEngagementV” y “changeEngagementT” lo que ocasionará que en el siguiente ciclo Jacub se enganche visualmente al objeto rojo.

Ciclo 5: Jacub mantiene agarrado el objeto rojo mientras lo atiende visualmente

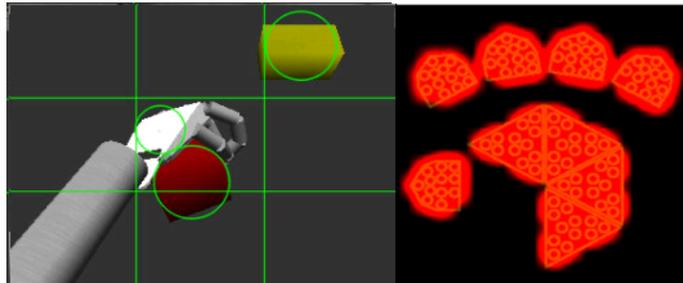


Figura 7.19: Jacub se engancha visualmente al objeto rojo mientras lo mantiene agarrado.

(1) Jacub construye el siguiente contexto-actual:

```
[ {"contentment":2,"color":"c2","size":"s1","sector":5,"moving":false}, {"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"} ]
```

(2) Como se cumplen las expectativas *iDev E-R* selecciona como siguiente esquema el ancestro del esquema 119, es decir el esquema 118:

```
{ "id":118, "equilibrated":false, "context":[ {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":*,"moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"} ],
```

7. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

```
"actions":["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
"expected":[
  {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
  {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
],
"children":[{"
  "id":119,
  "equilibrated":false,
  "context":[
    {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["changeEngagementV", "changeEngagementT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
  ]
}]
}
```

y establece la expectativa para el siguiente ciclo como:

```
[
{"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
]
```

Mientras que la meta se mantiene como:

```
[
{"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
{"contentment":2, "hand":"*","texture":"*"}
]
```

(3) Se ejecutan las acciones “changeEngagementV” y “changeEngagementT” lo que ocasionará que Jacub cambie su atención visual nuevamente hacia el objeto rojo (figura 7.20) .

Ciclo 6: Jacub atiende visualmente el objeto rojo, mientras lo mantiene agarrado (figura 7.20).

(1) Jacub construye como contexto-actual:

```
[
{"contentment":2,"color":"c2","size":"s1","sector":5,"moving":false},
{"contentment":2, "hand":"closed","texture":"t1"}
]
```

(2) El módulo de emociones detecta que se cumplieron las expectativas y que se ha llegado al contexto meta, por lo que dispara la emoción de *joy*.

7.6 Surgimiento de un esquema para centrar visualmente el objeto que realmente está tocando con la mano

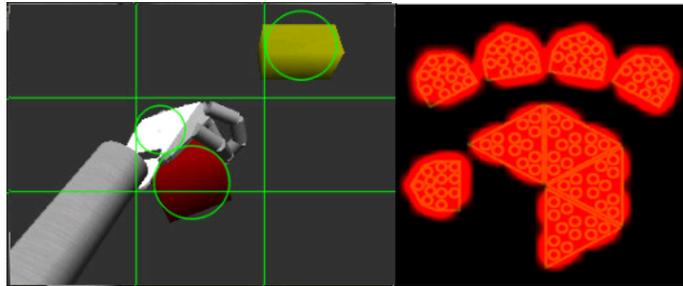


Figura 7.20: Jacob se engancha visualmente a su mano, mientras mantiene el objeto rojo agarrado.

(3) Antes de entrar en modo *Engagement*, *iDev E-R* detecta la emoción de *joy* y crea un nuevo esquema con el contenido de la memoria de trabajo que representa la forma de llegar a la meta que se había establecido:

```
{
  "id":221,
  "equilibrated":false,
  "context":[
    {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":*,"moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "actions":["changeEngagementV","changeEngagementT"],
  "expected":[
    {"contentment":2,"color":"$2","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
    {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
  ],
  "children":[{"id":222,
    "equilibrated":true,
    "context":[
      {"contentment":1,"color":"$1","size":"*","sector":7,"moving":"*"},
      {"contentment":2,"hand":"closed","texture":"t1"}
    ],
    "actions":["headLeftDown","changeEngagementT"],
    "expected":[
      {"contentment":2,"color":"$1","size":"*","sector":"*","moving":"*"},
      {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}
    ]
  ]
}
```

Este nuevo esquema se guarda permanentemente en la base de conocimiento de Jacob, por lo que ahora sabe cómo centrar visualmente el objeto que está agarrando con la mano.

Capítulo 8

Discusión y conclusiones

Con base en la teoría del desarrollo de la intencionalidad propuesta por Lewis (1990) y la teoría del desarrollo emocional propuesta por Case et al. (1988), hemos extendido el modelo *Dev E-R* propuesto originalmente por Aguilar (2015), y que posteriormente fue extendido por Sánchez (2017). Las modificaciones hechas al modelo *Dev E-R* en este trabajo representan la versión 3.0 del modelo, cuya principal característica es que permite al agente tanto autogenerar sus metas, como llegar a ellas. Como meta se debe entender un contexto específico que el agente se propone alcanzar. En nuestro modelo, el establecimiento de las metas depende de los estímulos o situaciones con las que el agente Jacub se encuentra en su mundo virtual. Es importante enfatizar que aunque en este trabajo se inicializó el agente con el desarrollo cognitivo que éste alcanzó en sus versiones previas, la autogeneración de metas es posible únicamente cuando el agente ha desarrollado esquemas con estructura de árbol. Por lo que si el agente se inicializara solo con los esquemas básicos (tendencias innatas y reflejos), éste comenzaría a mostrar un comportamiento dirigido por metas (intencional) hasta que lograra crear y estabilizar esquemas arborescentes. Es decir, hasta que pudiera diferenciar entre aquellos esquemas que son un medio, de aquellos que son un fin en sí mismos. Similarmente, la capacidad de Jacub de experimentar nuevas emociones (*joy* y *rage*) depende del desarrollo de sus habilidades para autoestablecerse metas y de conseguirlas, aún cuando se enfrente a situaciones inesperadas que no le permitan alcanzarlas de forma directa con su conocimiento actual (es decir, cuando se enfrente a obstáculos). En conjunto con el establecimiento de metas y la activación de nuevas emociones el agente es capaz de generar nuevos esquemas, ya sea para automatizar, y por lo tanto para hacer más eficientes ciertos comportamientos (compactación de esquemas) o para alcanzar una meta en presencia de obstáculos. En este sentido, es posible decir que el disparo de las nuevas emociones incide en el desarrollo cognitivo del agente, como lo plantea Case en su teoría sobre el desarrollo cognitivo y emocional. También es importante enfatizar que estas nuevas emociones no serán experimentadas por el agente si éste no recibe la estimulación adecuada; es decir, un ambiente “interesante” que propicie su desarrollo cognitivo y por lo tanto emotivo. Esto está en sintonía con las ideas enactivistas de la

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

inteligencia, las cuales plantean que el desarrollo de la inteligencia es producto de los agentes interactuando con el mundo.

A modo de resumen, se listan los nuevos comportamientos que el agente desarrolló con la versión 3.0 del modelo *Dev E-R*:

1. Agarrar y centrar en su campo de visión un objeto que está viendo y tocando en la periferia de su campo de visión.
2. Automatizar aquellos esquemas compuestos de profundidad mayor a 1.
3. Alternar su atención entre dos objetos que se encuentran en el centro de su campo de visión.
4. Agarrar y centrar en su campo de visión el objeto que está tocando, cuando el que está atendiendo visualmente es un objeto diferente.

Los comportamientos anteriores han quedado integrados a la base de conocimiento de Jacub como 27 nuevos esquemas. En el anexo B se incluyen la lista de esquemas desarrollados por Jacub.

Otra de las contribuciones de este trabajo al iniciado por Aguilar (2015) fue la re-implementación del agente y el modelo Dev E-R en la plataforma iCub. Con esto se espera promover la continuidad del proyecto al tener disponible una plataforma más sofisticada y más adecuada al tipo de investigación a la que se orienta este proyecto. Para concluir, se presentan algunas ideas de trabajo a futuro:

- Habilitar el uso de la mano derecha
- Generar nuevos ambientes virtuales que presenten retos cognitivos más interesantes al agente y promuevan comportamientos más complejos.
- Habilitar el sentido del oído para enriquecer el espectro sensorial de Jacub
- Integrar el *input* social en el sistema cognitivo del agente, por ejemplo interactuar con un ser humano mediante la cámara y voz, lo que posibilitaría el desalentar o reforzar conductas a partir de la retroalimentación social.
- Ampliación del espectro emocional de agente.

Bibliografía

- Aguilar, W. (2015). *Un modelo computacional del desarrollo cognitivo: Las primeras habilidades tacto-visuales*. PhD thesis, Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, UNAM. México. [10](#), [17](#), [35](#), [36](#), [55](#), [60](#), [77](#), [79](#), [123](#), [124](#)
- Aguilar, W. and Perez y Perez, R. (2017). Emergence of eye-hand coordination as a creative process in an artificial developmental agent. *Adaptive Behavior*, 25(6):289–314. [10](#), [17](#)
- Case, R., Hayward, S., Lewis, M., and Hurst, P. (1988). Toward a neo-piagetian theory of cognitive and emotional development. *Developmental Review*, 8(1):1–51. [11](#), [24](#), [27](#), [28](#), [31](#), [46](#), [68](#), [69](#), [70](#), [80](#), [81](#), [123](#)
- Chaput, H. H. (2004). *The constructivist learning architecture: A model of cognitive development for robust autonomous robots*. PhD thesis. [15](#), [16](#)
- Ciliberto, C., Pattacini, U., Natale, L., Nori, F., and Metta, G. (2011). Reexamining lucas-kanade method for real-time independent motion detection: Application to the icub humanoid robot. In *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 4154–4160. IEEE. [65](#)
- Cohen, L. B. (1998). An information-processing approach to infant perception and cognition. *The development of sensory, motor, and cognitive capacities in early infancy*, pages 277–300. [16](#)
- Cohen, P. R. (1997). Neo: Learning conceptual knowledge by sensorimotor interaction with an environment. *Computer Science Department Faculty Publication Series*, page 195. [16](#)
- Drescher, G. L. (1991). *Made-up minds: a constructivist approach to artificial intelligence*. MIT press. [10](#), [15](#), [21](#), [23](#)
- Dreyfus, H. L. (1979). *What computers can't do: The limits of artificial intelligence*, volume 1972. Harper & Row New York. [9](#)
- Goldstein, S., Princiotta, D., and Naglieri, J. A. (2015). Handbook of intelligence.

BIBLIOGRAFÍA

- Evolutionary theory, historical perspective, and current concepts.* New York, NY: Springer. 19, 20
- Guerin, F. (2011). Learning like a baby: a survey of artificial intelligence approaches. *The Knowledge Engineering Review*, 26(2):209–236. 16, 17, 37, 42
- Holmes, M. P. et al. (2005). Schema learning: Experience-based construction of predictive action models. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pages 585–592. 16
- Istituto Italiano di Tecnologia (2015). A network of ports. 57
- Jager, J. and Meijering, R. (2015). iCub Robot. PreMSc report 030ram2015, University of Twente. premsc. 56, 57, 58, 62
- James, W. (1983). What is an emotion?[1884]. *Collected Essays and Reviews*, pages 244–275. 28
- Lewis, M. (1990). The development of intentionality and the role of consciousness. *Psychological Inquiry*, 1(3):230–247. 11, 24, 123
- Metta, G., Craighero, L., Fadiga, L., Ijspeert, A., Rosander, K., Sandini, G., Vernon, D., and von Hofsten, C. (2009). A roadmap for the development of cognitive capabilities in humanoid robots. *Deliverable D2*, 1. 56
- Newell, A., Shaw, J. C., and Simon, H. A. (1958). Elements of a theory of human problem solving. *Psychological review*, 65(3):151. 28
- Pérez, R. P. Y. and Sharples, M. (2001). Mexica: A computer model of a cognitive account of creative writing. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 13(2):119–139. 40
- Perotto, F. S., Buisson, J.-C., and Alvares, L. O. C. (2007). Constructivist anticipatory learning mechanism (calm): Dealing with partially deterministic and partially observable environments. In *International Conference on Epigenetic Robotics (Epi-Rob)*, Piscataway, NJ, USA, 29/10/2007-02/11/2007, pages 117–127. Lund University Cognitive Science. 17
- Piaget, J. and Cook, M. T. (1952). The origins of intelligence in children. 9, 19
- Pérez, R. P. Y. and Sharples, M. (2001). Mexica: A computer model of a cognitive account of creative writing. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 13(2):119–139. 17, 79
- Schlesinger, M. and Barto, A. (1999). Optimal control methods for simulating the perception of causality in young infants. 16
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and brain sciences*, 3(3):417–424. 9

- Simon, H. A. (1967). Motivational and emotional controls of cognition. *Psychological review*, 74(1):29. [31](#)
- Stojanov, G. (2009). History of usage of piaget’s theory of cognitive development in ai and robotics: A look backwards for a step forwards. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Epigenetic Robotics, Venice, Italy*. [10](#)
- Stojanov, G., Bozinovski, S., and Trajkovski, G. (1997). Interactionist-expectative view on agency and learning. *Mathematics and Computers in Simulation*, 44(3):295–310. [16](#)
- Stojanov, G. et al. (2001). Petitagé: A case study in developmental robotics. *Proceedings of epigenetic robotics*, 1. [16](#)
- Sánchez, L. (2017). Un modelo computacional del desarrollo cognitivo: Las primeras habilidades tacto-visuales. Master’s thesis, Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, UNAM. México. [10](#), [17](#), [35](#), [46](#), [47](#), [48](#), [49](#), [50](#), [52](#), [60](#), [77](#), [79](#), [123](#)
- Tikhanoff, V., Fitzpatrick, P., Nori, F., Natale, L., Metta, G., and Cangelosi, A. (2012). The icub humanoid robot simulator. *IROS Workshop on Robot Simulators*. [56](#)
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236):433–460. [15](#)
- Wikimedia Commons (2016). File:icub_innorobo_lyon_2014_debout.jpg — wikimedia commons, the free media repository. [Online; accessed 14-November-2019]. [56](#)
- Wikimedia Commons (2018). File:icub_innorobo_lyon_2014.jpg — wikimedia commons, the free media repository. [Online; accessed 14-November-2019]. [56](#)
- Witkowski, C. M. (2013). *Schemes for learning and behaviour: A new expectancy model*. PhD thesis. [15](#)

Apéndice A

Base de conocimiento inicial de Jacob

```
{ "schemes": [
  {
    "id": "1",
    "equilibrated": true,
    "context": [{ "distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" }, {} ],
    "actions": [ "random" ]
  },
  {
    "id": "2",
    "equilibrated": true,
    "context": [ {}, { "contentment": 1, "texture": "*", "hand": "open" } ],
    "actions": [ "closeHand" ]
  },
  {
    "id": "3",
    "equilibrated": true,
    "context": [ { "contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" }, {} ],
    "actions": [ "showInterestInV" ]
  },
  {
    "id": "4",
    "equilibrated": true,
    "context": [ {}, { "contentment": 1, "texture": "*", "hand": "*" } ],
    "actions": [ "showInterestInT" ]
  },
  {
    "id": "5",
    "equilibrated": true,
    "context": [ { "contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*" }, {} ],
    "actions": [ "changeAttentionV" ]
  },
  {
    "id": "6",
    "equilibrated": true,
    "context": [ {}, { "contentment": 2, "texture": "*", "hand": "*" } ],
    "actions": [ "changeAttentionT" ]
  },
  ]
}
```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
{
  "id": "7",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["showInterestInV"]
},
{
  "id": "8",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 1, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeftUp"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "9",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headUp"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "10",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 3, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRightUp"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "11",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeft"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "12",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRight"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "13",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeftDown"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "14",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headDown"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
```

```

    "id": "15",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headRightDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "16",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handUp"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "17",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "18",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handRight"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "19",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handLeft"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "20",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInT", "headRightDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
  },
  {
    "id": "21",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInT", "headRightDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
  },
  {
    "id": "22",
    "equilibrated": true,

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
"context": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
"actions": ["changeAttentionV", "closeHand"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}]
},
{
  "id": "23",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showIntetestInV", "closeHand"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}]
},
{
  "id": "24",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showIntetestInV", "closeHand"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}]
},
{
  "id": "25",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "1", "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeftUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "26",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "27",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "3", "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRightUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "28",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeft"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "29",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
```

```

"actions": ["headRight"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "30",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["headLeftDown"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "31",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["headDown"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "32",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["headRightDown"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "33",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["handLeft"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "34",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["handRight"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "35",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["handUp"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "36",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["handDown"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
" id": "37",
"equilibrated": true,
"context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 1, "moving": "*"}, {}],

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
"actions":["headLeftUp"],
"expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
"children":[{"
  "id":"38",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":1,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headLeftUp"],
  "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
}],
{
  "id":"39",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headUp"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"40",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["headUp"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"41",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":3,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headRightUp"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"42",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":3,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["headRightUp"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"43",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headLeft"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"44",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["headLeft"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"45",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
```

```

"actions": ["headRight"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
"children": [{
  "id": "46",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRight"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
}],
},
{
  "id": "47",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeftDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "48",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headLeftDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }
}],
},
{
  "id": "49",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "50",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }
}],
},
{
  "id": "51",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRightDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "52",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headRightDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }
}],
},
{
  "id": "53",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
"actions":["handDown"],
"expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
"children":[{"
  "id":"54",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["handDown"],
  "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
}],
{
  "id":"55",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"c1","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["handRight"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"56",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["handRight"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"57",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"c1","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["handLeft"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"58",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["handLeft"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"59",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"c1","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["handUp"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"60",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["handUp"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"61",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"c1","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
```

```

"actions": ["handDown"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
"children": [{
  "id": "62",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headUp"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
}],
},
{
  "id": "63",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handRight"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "64",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headLeft"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }],
},
{
  "id": "65",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handLeft"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "66",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headRight"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }],
},
{
  "id": "67",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "68",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }],
},
{
  "id": "69",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
"actions":["headUp"],
"expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
"children":[{"
  "id":"70",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["handDown"],
  "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
}],
{
  "id":"71",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "actions":["headLeft"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"72",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["handRight"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"73",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "actions":["headRight"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"74",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["handLeft"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"75",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "actions":["headDown"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}],
  "children":[{"
    "id":"76",
    "equilibrated":true,
    "context":[{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
    "actions":["handUp"],
    "expected":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
  }]
},
{
  "id":"77",
  "equilibrated":true,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
```

```

"actions": ["headUp"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
"children": [{
  "id": "78",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headUp"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
},
{
  "id": "79",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handDown"],
  "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
}
],
{
  "id": "80",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headLeft"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "81",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headLeft"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "82",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handRight"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }
]
},
{
  "id": "83",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRight"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "84",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headRight"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "85",
    "equilibrated": true,

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handLeft"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }
},
{
  "id": "86",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
  "children": [{
    "id": "87",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["headDown"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  },
  {
    "id": "88",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
    "actions": ["handUp"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}]
  }
]
},
{
  "id": "89",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 1, "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headLeftUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{
    "id": "90",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{
      "id": "91",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 1, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headLeftUp"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}
},
}
```

```

{
  "id": "92",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{"
    "id": "93",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{"
      "id": "94",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headUp"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}]
},
{
  "id": "95",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 3, "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headRightUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{"
    "id": "96",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{"
      "id": "97",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 3, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headRightUp"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}]
},

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
{
  "id": "98",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {"contentment": 2,
    "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headLeft"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment":
    " : 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{"
    "id": "99",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"
      contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"
      contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{"
      "id": "100",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {"
        contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headLeft"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}
        ], {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}]
},
{
  "id": "101",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {"contentment": 2
    "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headRight"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment":
    " : 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{"
    "id": "102",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"
      contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"
      contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{"
      "id": "103",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {"
        contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headRight"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}
        ], {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}]
},
```

```

{
  "id": "104",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headLeftDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{
    "id": "105",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{
      "id": "106",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headLeftDown"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}
},
{
  "id": "107",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{
    "id": "108",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{
      "id": "109",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headDown"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}
},

```

A. BASE DE CONOCIMIENTO INICIAL DE JACUB

```
{
  "id": "110",
  "equilibrated": true,
  "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {"contentment": 2,
    "hand": "*", "texture": "*"}],
  "actions": ["showInterestInT", "headRightDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"contentment":
    " : 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
  "children": [{
    "id": "111",
    "equilibrated": true,
    "context": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"
      contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "actions": ["showInterestInV", "closeHand"],
    "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {"
      contentment": 2, "hand": "*", "texture": "*"}],
    "children": [{
      "id": "112",
      "equilibrated": true,
      "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {"
        contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}],
      "actions": ["showInterestInT", "headRightDown"],
      "expected": [{"contentment": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}
        }, {"contentment": 1, "hand": "*", "texture": "*"}]
    }
  ]
}]
},
"totalSchemes": 112
}
```

Apéndice B

Esquemas desarrollados por Jacob

```
{
  "id":115,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":1,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headLeftUp","headLeftUp"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":116,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headUp","headUp"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":117,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":3,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headRightUp","headRightUp"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":118,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headLeft","headLeft"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":119,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
  "actions":["headRight","headRight"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":120,
  "equilibrated":false,
```

B. ESQUEMAS DESARROLLADOS POR JACUB

```
"context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 7, "moving": "*"}, {}],
"actions": ["headLeftDown", "headLeftDown"],
"expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 121,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headDown", "headDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 122,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 9, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headRightDown", "headRightDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 123,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handDown", "handDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 124,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 4, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handRight", "handRight"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 125,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 6, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handLeft", "handLeft"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 126,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "c1", "size": "*", "sector": 8, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["handUp", "handUp"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 127,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress": 1, "color": "*", "size": "*", "sector": 2, "moving": "*"}, {}],
  "actions": ["headUp", "handDown"],
  "expected": [{"contentment": 2, "color": "*", "size": "*", "sector": "*", "moving": "*"}, {}],
},
{
  "id": 128,
  "equilibrated": false,
```

```

"context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["headLeft","handRight"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":129,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["headRight","handLeft"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":130,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["headDown","handUp"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":131,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["handDown","headUp"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":132,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["handRight","headLeft"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":133,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["handLeft","headRight"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":134,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["handUp","headDown"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":135,
"equilibrated":false,
"context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["headUp","headUp"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
" id":136,
"equilibrated":false,

```

B. ESQUEMAS DESARROLLADOS POR JACUB

```
"context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {}],
"actions": ["handDown","headUp"],
"expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":137,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
  "actions": ["headLeft","headLeft"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":138,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {}],
  "actions": ["handRight","headLeft"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":139,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
  "actions": ["headRight","headRight"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":140,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {}],
  "actions": ["handLeft","headRight"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":141,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
  "actions": ["headDown","headDown"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":142,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"c1","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {}],
  "actions": ["handUp","headDown"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {}]
},
{
  "id":143,
  "equilibrated":false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":1,"moving":"*"}, {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["showInterestInT","headLeftUp","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","headLeftUp"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
}
```

```

{
  "id":144,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":2,"moving":"*"}, {"contentment":1,"
    hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["showInterestInT","headUp","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","headUp
    "],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment
    ":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":145,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":3,"moving":"*"}, {"contentment":1,"
    hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["showInterestInT","headRightUp","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","
    headRightUp"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment
    ":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":146,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {"contentment":1,"
    hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["showInterestInT","headLeft","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","
    headLeft"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment
    ":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":147,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":6,"moving":"*"}, {"contentment":1,"
    hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["showInterestInT","headRight","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","
    headRight"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment
    ":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":148,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":7,"moving":"*"}, {"contentment":1,"
    hand":"*","texture":"*"}],
  "actions": ["showInterestInT","headLeftDown","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","
    headLeftDown"],
  "expected": [{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment
    ":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":149,
  "equilibrated": false,
  "context": [{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":8,"moving":"*"}, {"contentment":1,"
    hand":"*","texture":"*"}],

```

B. ESQUEMAS DESARROLLADOS POR JACUB

```
"actions":["showInterestInT","headDown","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","headDown"],
"expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":150,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"distress":1,"color":"*","size":"*","sector":9,"moving":"*"}, {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}],
  "actions":["showInterestInT","headRightDown","showInterestInV","closeHand","showInterestInT","headRightDown"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}]
},
{
  "id":151,
  "equilibrated":false,
  "context":[{"contentment":1,"color":"*","size":"*","sector":4,"moving":"*"}, {"contentment":1,"hand":"*","texture":"*"}],
  "actions":["engageToV","closeHand","headLeft","engageToT"],
  "expected":[{"contentment":2,"color":"*","size":"*","sector":"*","moving":"*"}, {"contentment":2,"hand":"*","texture":"*"}]
}
```