



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**UN MODELO COMPUTACIONAL DEL DESARROLLO COGNITIVO:
LAS PRIMERAS HABILIDADES TACTO-VISUALES**

T E S I S

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

**PRESENTA:
LEONARDO SÁNCHEZ BOJÓRQUEZ**

**TUTOR:
DRA. WENDY ELIZABETH AGUILAR MARTÍNEZ**

CIUDAD DE MÉXICO, ABRIL 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

“Vi un ángel en el mármol y tallé hasta que lo hice libre”.

- Miguel Ángel

Agradecimientos

Quiero agradecer al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología **Conacyt**, por la beca que permitió que pudiera estudiar esta maestría y llevar a cabo esta investigación. Agradezco al Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas **IIMAS**, por la calidad del personal en la coordinación y docente, así como el altísimo nivel de las clases que ahí se imparten. Sin dejar de lado a esas grandes personalidades que fueron y son, mis compañeros, colegas, cómplices y amigos. Todo lo anterior es un regalo invaluable para toda la vida.

Gracias a mi tutora **Wendy**, nunca olvidaré las tardes discutiendo los temas tan interesantes que giraron en torno a este trabajo de investigación. Tu apoyo a final del último semestre y durante la realización de esta tesis, hizo posible este trabajo a pesar de tantos momentos difíciles.

Estoy en fuertemente en deuda con el equipo del **Laboratorio de Dinámica no Lineal**, su apoyo a través de tantos años es invaluable. En particular el apoyo del **Dr. Humberto Carrillo**, de quien no termino de aprender día con día gran cantidad de cosas.

Valoro enormemente a mis **sinodales**, por haber aceptado este proyecto, por su tiempo y sus consejos.

Agradezco a mi **familia**, por siempre estar al tanto de mi desarrollo, incluidos quienes a pesar de las fronteras temporales ya no están aquí. Sus expectativas en mi, son el motor que hace latir mi corazón y sin ustedes simplemente yo no existiría.

Dan, *my brother from another mother*, sin tu ejemplo, esto no habría sido posible. Gracias por ser el primero en abrir las puertas a lo desconocido y ser la estrella que alumbró mi camino científico.

Ciber-Chamán, gracias por ser el oráculo de oráculos, el guardián de los patrones divinos dentro de este misterioso universo, simplemente la aurora antes del sol.

Eli, ha sido duro para ambos, y agradezco los esfuerzos por estar ahí e intentar comprender lo difícil que ha sido esto, te amo.

¡Gracias por todo esto vida!

Índice general

1 Introducción	6
1.1 Motivaciones	6
1.2 Objetivo	7
1.3 Hipótesis	8
1.4 Organización de la tesis	8
2 Investigación relacionada	9
3 Teoría del Desarrollo Cognitivo de Piaget	11
3.1 Etapas del desarrollo cognitivo	12
3.2 Los seis subestadios de la etapa sensorio-motora	12
3.3 El desarrollo de coordinación entre la visión y la prensión	15
3.4 Afectividad y desarrollo de la inteligencia	16
3.5 Limitaciones en la teoría de Piaget	16
4 El agente virtual Jacques y el modelo Dev E-R	17
4.1 Mundo virtual	17
4.2 El agente virtual Jacques	17
4.2.1 Características físicas	18
4.2.2 Características cognitivas	19
4.2.3 El agente puede ver su mundo	19
4.2.4 El agente puede tocar su mundo	20
4.2.5 El agente simula un proceso de atención	20
4.2.6 El agente simula respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones intrínsecas	21
4.2.7 El agente cuenta con una memoria	21
4.2.8 El agente cuenta con mecanismos de adaptación	23
4.3 Interacción del Agente con su mundo	24
4.4 Dev E-R: The developmental engagement reflection model	24
4.4.1 Funcionamiento general	24
4.4.2 Simulación del proceso de acomodación	25
4.4.3 Simulación del equilibrio cognitivo	26
4.4.4 Simulación del proceso de asimilación	26
4.5 Resultados obtenidos	28
4.5.1 Primer conjunto de experimentos: El agente solo puede ver su mundo	28
4.5.2 Segundo conjunto de experimentos: El agente solo puede tocar su mundo	30
4.5.3 Tercer conjunto de experimentos: El agente puede ver y tocar su mundo	32
4.5.4 Ejemplo paso a paso del desarrollo de los esquemas de tacto	33

5 El agente PiaDev: La reimplementación de Jacques	38
5.1 PiaWorld el mundo virtual de PiaDev	39
5.1.1 Archivo de configuración	40
5.2 Características físicas	44
5.3 Características cognitivas	45
5.4 El agente cuenta con una memoria	46
5.4.1 Representación de contextos y expectativas en JSON	46
5.4.2 Memoria a corto plazo	48
5.4.3 Memoria a largo plazo	48
5.5 El agente cuenta con mecanismos de adaptación	50
5.6 Interacción del agente con su mundo	50
6 Dev E-R 2.0	52
6.1 Funcionamiento general	52
6.2 Simulación del proceso de acomodación	53
6.2.1 Actualización de experiencias	53
6.2.2 Generalización	53
6.2.3 Diferenciación	55
6.2.4 Esquemas acumuladores	56
6.3 Simulación del proceso de asimilación	56
7 Experimentos y resultados: El agente y una pelota	58
7.1 Conocimiento y configuraciones iniciales	59
7.2 Primer equilibrio cognitivo	63
7.3 Segundo equilibrio cognitivo	65
7.4 Tercer equilibrio cognitivo	66
7.5 Surgimiento de esquema de recuperación visual, prensado y centrado	68
8 Discusión y conclusiones	71
8.1 Trabajo a futuro	73
Referencias	74

1 Introducción

1.1 Motivaciones

En el área de la inteligencia artificial, se desea incrementar la autonomía de las máquinas, dotándolas de la capacidad de aprender a resolver los problemas de la vida cotidiana así como de la industria, a través del aprendizaje adquirido al interactuar con el medio ambiente en el que "viven". Una alternativa para lograrlo, es dotarlas de un programa inicial que simule la mente de un infante, a la cual se eduque posteriormente de manera similar a como se educa a los niños, como lo propuso Alan Turing (Turing, 1950). La implementación de dicho programa inicial así como su desarrollo cognitivo se pueden nutrir de las teorías procedentes de la psicología del desarrollo. En particular, en este trabajo de investigación usaremos las ideas planteadas por el psicólogo Jean Piaget (Piaget, 1952,1954,1971,1981).

Piaget creía que la infancia del individuo juega un papel vital y activo en el crecimiento de la inteligencia, y que el niño aprende a través de hacer y explorar activamente el mundo. La teoría del desarrollo intelectual se centra en la percepción, la adaptación y la manipulación del entorno que le rodea. Es conocida principalmente como una teoría de las etapas de desarrollo, pero, de hecho, trata de cómo los seres humanos llegan gradualmente a adquirir el conocimiento, construirlo y utilizarlo. De acuerdo a su teoría esto se lleva a cabo a través de una continua adaptación al medio ambiente, que se define como la interacción de dos procesos:

- *Asimilación*: Proceso mediante el cual se interactúa con nuevos objetos o eventos mediante el conocimiento adquirido de experiencias pasadas.
- *Acomodación*: Proceso de modificación del conocimiento actual cuando éste difiere de la realidad.

Para Piaget el equilibrio cognitivo es el resultado de los procesos de asimilación y acomodación sobre su conocimiento del mundo hasta lograr su integración a una estructura cognitiva estable. Durante su proceso de adaptación las estructuras cognitivas se estabilizan y desestabilizan mediante la integración de nuevas experiencias para su desarrollo.

De acuerdo a Piaget los seres humanos pasamos por cuatro etapas consecutivas de desarrollo cognitivo. La primera de ellas, en la cual estamos interesados en esta tesis, es llamada *periodo sensoriomotor*. Esta etapa abarca desde el nacimiento a aproximadamente los 2 años de edad. Se caracteriza por el uso de los sentidos y las habilidades motrices, que aún se encuentran en desarrollo, para conocer el mundo. Este periodo se divide a su vez en seis subestadios:

1. **Uso de los reflejos:** 0 a ~1 mes. Ejercicio de actos reflejos.
2. **Reacciones circulares primarias / Ambiente interno:** ~1 a ~4.5 meses. Reiteración voluntaria de una actividad que ha proporcionado placer.
3. **Reacciones circulares secundarias / Ambiente externo:** ~4.4 a ~4-8 meses. Coordinación de movimientos para obtener gratificación.
4. **Coordinación de esquemas secundarios:** ~8-9 a ~11-12 meses. Coordinación y generalización de esquemas sensoriomotrices secundarios. En esta etapa, el infante comienza a coordinar dos o más acciones para alcanzar un objetivo simple.
5. **Reacciones circulares terciarias:** ~13 a ~17 meses. Experimentación activa en la utilización de nuevos medios para conseguir sus fines, es decir, conseguir objetivos conocidos de manera intencional.
6. **Aparición incipiente del pensamiento simbólico:** ~18 meses. *Insight*, es decir, anticipación y realización de acciones en secuencia con propósito.

Inspirados en las teorías de Piaget se creó un modelo computacional del desarrollo cognitivo llamado *Dev E-R* (Aguilar, 2015), el cual simula los procesos de adaptación de *asimilación-acomodación-equilibración*.

Para probar dicho modelo se creó un agente llamado *Jacques* que se inicializa con comportamientos reflejos característicos de la primera etapa del periodo sensoriomotor. A partir de ahí y a través de sus interacciones con su mundo virtual, logra aprender progresivamente habilidades características del segundo e inicios del tercer subestadio del periodo sensoriomotor.

El modelo *Dev E-R* cuenta con una memoria a corto plazo que sólo le permite al agente recordar su última percepción y acción realizada. En este trabajo se modifica este modelo de tal manera que pueda realizar los procesos de *asimilación-acomodación-equilibración* con una memoria extendida que le permita recordar una cantidad mayor (pero aún pequeña) de percepciones y acciones realizadas en su pasado inmediato.

1.2 Objetivo

El objetivo de este trabajo es estudiar cómo afecta la capacidad de la memoria a corto plazo al desarrollo cognitivo del agente. Para lograrlo se propone re-implementar el modelo *Dev E-R* dando lugar a una segunda versión, cuya principal aportación consiste en dotar al agente de una memoria a corto plazo la cual se va incrementando conforme se va construyendo el conocimiento.

1.3 Hipótesis

- Las habilidades aprendidas se incrementarán conforme la memoria del agente aumenta, ya que esto le permite descubrir y desarrollar habilidades compuestas de secuencias de acciones de las que antes no era capaz de realizar y/o percatarse.
- En particular, se espera que se generen nuevos esquemas relacionados con las primeras coordinaciones tacto-visuales, que no se generaban cuando la memoria a corto plazo sólo tenía la capacidad de almacenar su última experiencia.

1.4 Organización de la tesis

En el Capítulo 2 se presenta un resumen de los trabajos previos relacionados. El Capítulo 3 introduce brevemente la teoría de Piaget. El Capítulo 4 es un resumen del agente virtual Jaques y el modelo *Dev E-R* en los que se basó este trabajo para simular el desarrollo cognitivo. El Capítulo 5 presenta la nueva versión del agente *Jacques* llamada *PiaDev*. El Capítulo 6 muestra la versión 2.0 del modelo *Dev E-R* implementado en el agente virtual *PiaDev*. En el Capítulo 7 se muestran algunos experimentos y resultados de *PiaDev* al interactuar con su mundo virtual utilizando al modelo *Dev E-R 2.0*. Finalmente, en el Capítulo 8 se discuten los resultados de los experimentos, se presentan las conclusiones y reflexiones acerca del trabajo a futuro.

2 Investigación relacionada

Alan Turing en 1950, fue el primero en introducir la idea de simular a un bebé artificial, dotado de un programa inicial que permita ser educado de manera similar a la que se educa a los niños (Turing, 1950). Más adelante esta idea sería retomada por Drescher en 1991. Drescher buscaba replicar aspectos clave del desarrollo cognitivo descritos por el psicólogo Jean Piaget, a través de la simulación de un bebé que se mueve y puede tomar objetos dentro de un mundo virtual reducido (Drescher, 1991). En el mismo año, Brooks (Brooks, 1991) y Varela (Varela, 1991) apoyan la hipótesis de que la inteligencia surge a partir de la interacción entre la mente y el cuerpo con su medio ambiente a este concepto se le llamó “embodiment” (Brooks, 1991; Varela 1991; Clark 1997; Guerin 2011). Más adelante Clark y Beer respectivamente, se integran a esta corriente, a la que se sumaron los conceptos de “developmental robotics” y de “epigenetic robotics”, para denominar a aquellos trabajos relacionados con el desarrollo cognitivo autónomo (Clark, 1997; Beer, 1998). En el 2003 Lungarella presenta una revisión de los marcos teóricos existentes para robots que se desarrollan (Lungarella, 2003).

En 2002 Parisi y Schlesinger presentan su trabajo de “Artificial Life Neural Network”, donde se investigan varios elementos clave de la teoría de Piaget dentro del marco de trabajo de la vida artificial (Parisi and Schlesinger, 2002). En el 2011 Guerin presenta una revisión de trabajos que abordan los problemas de la I.A. desde una perspectiva del desarrollo, donde el aprendizaje se da en un dominio similar al mundo físico, y que están enfocados al aprendizaje temprano (Guerin, 2011).

Para el año de 2015 Wendy Aguilar y Rafael Pérez y Pérez, proponen un modelo computacional del desarrollo cognitivo temprano implementado como un proceso creativo, llamado Dev E-R “Developmental Engagement-Reflection”. Este modelo está inspirado en la teoría del desarrollo cognitivo sensoriomotor descrito por Piaget. Para probarlo, crearon un agente virtual que lo implementa y que interactúa con un mundo virtual tridimensional. Hasta el momento, dicho agente logra aprender nuevos comportamientos característicos del segundo y del inicio del tercer subestadio del periodo sensoriomotor. La idea básica de dicho modelo es representar un estado de generación automática de ideas *Engagement*, y otro de evaluación y modificación analítica de las mismas *Reflection*.

3 Teoría del Desarrollo Cognitivo de Piaget

Jean Piaget fue un biólogo, psicólogo y filósofo Suizo que vivió a principios del siglo XX que fue conocido por sus estudios epistemológicos con niños. Piaget mostró gran interés en el estudio del origen del conocimiento, una rama de la filosofía conocida como epistemología. A través de sus estudios concibió al desarrollo cognitivo como el resultado de una reorganización progresiva de procesos mentales, resultado de la maduración biológica y la experimentación con el ambiente.

En los trabajos de Piaget podemos observar que en su teoría se plantea que los niños se encuentran motivados a aprender interactuando activamente con su mundo, con la finalidad de comprenderlo a partir de sus experiencias. Éstas experiencias se integran de manera constructiva, a través de estructuras cognitivas de causa y efecto llamadas esquemas. Los esquemas son conductas utilizadas ante situaciones y objetos con ciertas características, pueden ser modificados según las experiencias con el mundo e integrados a otros esquemas bajo diferentes niveles de abstracción.

Piaget creía que el proceso del pensamiento y del desarrollo cognitivo podría considerarse como una extensión del proceso biológico de la adaptación evolutiva de las especies, que lleva a cabo dos procesos: asimilación y acomodación. Hay asimilación cuando nos enfrentamos a un nuevo evento utilizando nuestro conocimiento adquirido hasta el momento y éste es consistente con la realidad. Y hay acomodación cuando un niño modifica su conocimiento existente para hacer frente a un nuevo objeto o situación.

La asimilación y la acomodación procesos complementarios, ya que una no puede existir sin la otra. Cuando se encuentran balanceadas, la asimilación y la acomodación generan esquemas mentales de la inteligencia operativa. En el caso en el que una predomina por encima de la otra, entonces generan representaciones figurativas.

Por ejemplo, según Piaget, los niños transforman a todos los objetos en cosas que pueden ser succionadas, porque realizan la asimilación de los objetos de acuerdo a sus propias estructuras mentales. Él observó a sus hijos no sólo asimilando objetos, sino también realizando acomodación de sus estructuras mentales para lograr adaptarse a las necesidades que les demandaba el ambiente. En un inicio, los niños sólo realizan acciones primarias como succionar, pero también aprenden a tomar objetos para colocarlos en su boca. Cuando hacen esto, ellos modifican su respuesta refleja para acomodar objetos externos en sus acciones reflejas.

Piaget sugirió que cuando se puede interpretar y responder cómodamente a nuevos eventos utilizando sus esquemas existentes, entonces los esquemas se encuentran en un estado de equilibrio cognitivo, que permite un progreso hacia formas de pensamiento más complejas. En ésta búsqueda de comprensión, los niños generan nuevos esquemas que

necesitarán adaptarse y afinarse hasta reencontrar el equilibrio. A este proceso de comprensión de eventos entre estados de desequilibrio y equilibrio, se le llama equilibración.

3.1 Etapas del desarrollo cognitivo

Una de las principales aportaciones de la teoría de Piaget, son sus cuatro etapas del desarrollo cognitivo: la sensorio-motora, la preoperacional, la operacional concreta y el estadio operacional formal. Cada una de éstas se desarrolla a partir de la anterior, debido a que un niño sólo es capaz de pasar de una etapa a otra sólo cuando su mente es lo suficientemente madura.

- **Etapa sensorio-motora:** La etapa sensorio-motora se extiende desde el nacimiento hasta la adquisición del lenguaje. En esta etapa los niños aprenden a través de experiencias con el mundo, a coordinar interacciones físicas hacia objetos, como tomarlos, succionarlos o golpearlos. Estas interacciones permiten a la mente desarrollarse desde acciones reflejas a un pensamiento simbólico.
- **Etapa preoperacional:** Esta etapa inicia alrededor de los 2 años y termina alrededor de los 7 años, periodo durante el cual el niño comienza a aprender a hablar. En esta etapa los niños comienzan una manipulación simbólica que se manifiesta a través del habla y juegos de pretensión, sin tener una noción clara acerca de diferentes puntos de vista. Este egocentrismo cognitivo, se supera gracias al deseo del niño de aprenderlo todo, para así dejar atrás una etapa de creencias “mágicas” ante la falta de entendimiento de las causas y los efectos en su mundo.
- **Etapa operacional concreta:** Esta etapa ocurre entre los 7 y 11 años de edad, durante esta etapa los pensamientos del niño pre-adolescente, comienzan a utilizar un sentido más apropiado de la lógica. El pensamiento abstracto e hipotético se desarrollan para poder ejercer actividades como el pensamiento inductivo. Este tipo de pensamiento es esencial para realizar generalizaciones acerca de las experiencias que se tienen en el mundo.
- **Estadio operacional formal:** En este estadio, el adolescente utiliza pensamientos de forma lógica y deductiva que no están relacionados necesariamente con la realidad. Se comienza a considerar posibles escenarios y consecuencias de sus posibles acciones. De igual forma, se desarrolla la capacidad de reflexionar acerca de sus propios pensamientos. Esto en combinación produce un desarrollo de la capacidad para resolver problemas a través de la generación y comprobación de hipótesis, mediante el desarrollo de métodos de prueba y error.

3.2 Los seis subestadios de la etapa sensorio-motora

De las cuatro etapas del desarrollo cognitivo nos centraremos en los seis subestadios de la etapa sensorio-motora, y en particular nos enfocaremos en el desarrollo del tercer subestadio, en donde se desarrollan los hábitos a través de las reacciones circulares. Del mismo modo, nos enfocaremos en el desarrollo de la coordinación entre la visión y la prensión.

1° Subestadio: Reflejos simples, *Nacimiento a 6 semanas.*

En esta etapa se realizan acciones reflejas hasta ser adquiridas y realizadas de manera voluntaria. Dentro de estas acciones reflejas podemos encontrar la succión cuando algún objeto toca los labios del niño. Seguir con la mirada a los objetos que encuentra interesantes. Voltar hacia el lado donde ha sido estimulado en sus mejillas. Tomar con fuerza los objetos que son colocados en la palma de su mano. Entre otros reflejos involuntarios como el parpadeo que permanecen toda la vida.

Las conductas que adquiere el niño son motivadas por el ambiente con la finalidad de realizar adaptaciones ante cambios en éste. Esto se lleva a cabo a través de un proceso de aprendizaje para la coordinación entre la sensación y la acción.

2° Subestadio: Primeros hábitos y fase primaria de reacciones circulares, *6 semanas a 4 meses.*

El niño añade un nuevo tipo de esquema a sus esquemas reflejos y son los correspondientes a reacciones circulares primarias. Al decir primarias, nos referimos a que la atención principal está centrada en el propio cuerpo. El niño buscará repetir un evento que inicialmente se produjo por casualidad, hasta convertirlo en un hábito, para así poder repetir el placer que ello aporta.

3° Subestadio: Fase de las reacciones circulares secundarias, *4 a 8 meses.*

Este subestadio se caracteriza por las reacciones circulares secundarias, es decir, aquellas que dejan de estar centradas en el propio cuerpo, para desarrollar una interacción con el mundo que le rodea. En particular, busca prolongar estímulos placenteros e interesantes, a través del desarrollo de la noción del espacio, la anticipación a las posiciones de los objetos en movimiento y el reconocimiento de objetos parcialmente ocultos.

Una característica de esta etapa es el desarrollo de la coordinación entre la visión y la prensión, que se traduce en la habilidad para agarrar objetos de manera intencional y el desarrollo de reacciones circulares secundarias.

4° Subestadio: Coordinación de las estadios de las reacciones circulares secundarias, *8 a 12 meses.*

En esta etapa el niño aprende a coordinar esquemas secundarios, a aplicar esquemas en nuevas situaciones, el desarrollo de planes y el uso de la intención. Con intención nos referimos a que el niño es capaz de construir un plan a través de anticipaciones más complejas y realizarlo por medio de una serie de acciones. Se desarrolla la coordinación entre esquemas que sirven como medios y otros como fines, que permiten hacer una planificación deliberada para alcanzar un objetivo.

Otra característica de esta etapa, es que los niños son capaces de imitar gestos no visibles para sí mismo, como hacer un guiño y reproducir sonidos nuevos que servirán más adelante de base para la adquisición del lenguaje.

5° Subestadio: Reacciones circulares terciarias, novedad y curiosidad, *12 a 18 meses.*

El niño experimentará con su mundo de manera activa, con la finalidad de adquirir nuevos medios para alcanzar sus fines. Para esto, el niño comienza a establecer relaciones más claras entre las causas y sus efectos. De igual forma, imita a las personas para descubrir nuevas habilidades y construye un repertorio de habilidades para su experimentación con el mundo a través de actividades prueba y error.

Una característica de esta etapa es que el problema de la permanencia del objeto es superado y el niño es capaz de saber que un objeto sigue existiendo, a pesar de haber perdido el estímulo.

6° Subestadio: Internalización de Esquemas, *18 a 24 meses.*

Esta etapa se caracteriza por la aparición de las representaciones mentales duraderas, a través del uso de símbolos primitivos. Esto le permite al niño elegir de entre una serie de combinaciones mentales, a través de representaciones de los objetos y sus características, que desarrolla el empleo de una verdadera creatividad.

Una característica de esta etapa es el juego simbólico y la imitación diferida, es decir, imitar a un modelo que no está presente. Por ejemplo, montar una escoba como si fuera un caballo.

3.3 El desarrollo de coordinación entre la visión y la prensión

Piaget define tres etapas para el desarrollo de la visión basadas en el comportamiento:

1. **Mirar por la necesidad de mirar:** Piaget concluye que los bebés nacen con una necesidad de mirar para alimentar sus esquemas. Para esta etapa, el motor de la conducta de mirar es la necesidad misma de mirar.
2. **Mirar para reconocer:** Con el tiempo el mirar por la necesidad de mirar se transforma en mirar para asimilar los objetos a sus esquemas especializados.
3. **Mirar para actuar:** Para que se pueda ejercer alguna acción sobre los objetos. Para que ocurra esto, es necesario que los esquemas visuales estén coordinados con otros esquemas como de prensión, audición o succión.

En cuanto a la adquisición de los mecanismos de prensión, Piaget lo consideró como el inicio de las conductas complejas, que caracterizan las primeras formas de la acción intencional. Y define su adquisición a través de 5 etapas sucesivas de desarrollo:

1. **Movimientos impulsivos y de puro reflejo:** El recién nacido realiza movimientos involuntarios como cerrar la mano cuando se ejerce presión sobre su palma.
2. **Prensión por la prensión y la visión que se adapta a los movimientos de la mano:** El bebé agarra objetos, por el simple hecho de agarrarlos y logra seguir visualmente sus manos sin poder coordinarlas. El bebé logra reconocer de manera táctil su nariz, ojos y manos.
3. **Coordinación entre la prensión y la succión, y la limitación de los movimientos de la mano al campo de visión:** El bebé agarra objetos y los lleva a su boca, y la mano se apodera de los objetos que la boca chupa. Durante esta etapa, el bebé tiende a mirar su mano cuando aparece por azar dentro su campo visual y a mantenerla dentro del mismo. De acuerdo a Piaget, llega un momento en el que el niño descubre la relación de la imagen visual de las manos con el movimiento de éstas. De tal forma, que el bebé al mirar su mano, por un lado se siente inclinado a no separar su mirada de su mano para prolongar el espectáculo, y por otra parte se siente inclinado a continuar moviendo su mano para verla y así prolongar esta actividad. Es entonces cuando se opera la coordinación de los dos esquemas por asimilación recíproca. Durante esta etapa al menos se conjugan entre sí los esquemas de succión, visión y actividad motriz de la mano con la exclusión de la prensión propiamente dicha.
4. **Prensión desde que el niño percibe simultáneamente su mano y el objeto deseado:** El niño logra agarrar los objetos que ve, siempre y cuando se encuentre la mano dentro del mismo campo visual. Para Piaget la visión simultánea de las manos y del objeto suscita la aparición de una nueva estructura que ni la visión de las manos ni la del objeto bastaba para hacer surgir. Al mirar la mano que agarra un objeto, el niño pretende, con la mano, mantener en acción el espectáculo que

contempla el ojo, del mismo modo que continúa, con el ojo, mirando lo que hace la mano.

5. **El niño agarra lo que ve sin limitaciones relativas a la posición de la mano:** La coordinación entre la visión y la prensión es ahora suficiente para originar un movimiento de prensión incluso cuando la mano no es percibida. Para Piaget, este último logro, es el desenlace de una asimilación recíproca entre esquemas visuales y manuales.

3.4 Afectividad y desarrollo de la inteligencia

Piaget también se interesó en la relación entre la afectividad y el desarrollo de la inteligencia, como dos componentes diferentes y complementarios. Para él, la afectividad es la fuerza que impulsa y regula el comportamiento, mientras que la cognición es aquella que provee las estructuras sobre las cuales se basa todo el comportamiento. Una de sus contribuciones, fue el identificar los elementos afectivos presentes durante los diferentes subestadios del periodo sensoriomotor. Él propuso que durante el primer subestadio los niños nacen con tendencias instintivas y emocionales sobre las cuales se comienza a desarrollar su sistema afectivo, como lo son las reacciones de terminación con sentimientos de éxito o fracaso.

3.5 Limitaciones en la teoría de Piaget

En lo que respecta al período sensoriomotor, el trabajo de Piaget ha sido criticado por haberse basado únicamente en las observaciones de sus tres hijos, lo cual difícilmente se puede considerar una muestra representativa. Adicionalmente, Piaget subestimó las capacidades de los niños y ha recibido críticas con respecto a que las etapas de desarrollo no son tan definidas como lo propuso. Sin embargo, su teoría captura aspectos esenciales del desarrollo cognitivo y diversos estudios confirman la secuencia de esas etapas, al menos en el periodo sensorio-motor. De modo que pareciera que los niños y adultos están naturalmente inclinados a buscar un sentido a la gente, objetos y eventos que les rodean.

Es así, que las ideas de Piaget han sido una influencia enorme en el estudio de la psicología del desarrollo, que provocó un cambio en la manera en que la gente concebía el mundo de los niños y los métodos para estudiarlos.

4 El agente virtual Jacques y el modelo Dev E-R

En este capítulo se introduce el agente virtual *Jacques* y el modelo *Dev E-R* (Aguilar, 2015), sobre los cuales está basada la presente tesis. Dicho modelo simula procesos cognitivos en el desarrollo de las conductas características de la primera y segunda subetapa del periodo sensoriomotor (Aguilar, 2015; Pérez y Pérez, 2007). Una de sus principales propiedades consiste en que el aprendizaje se lleva a cabo mediante la interacción del agente con su medio.

4.1 Mundo virtual

El agente interactúa con un mundo virtual en 3D, el cual puede representar lugares como una sala, un cuarto de juegos, un parque, un bosque, etc. (un ejemplo de un mundo virtual se muestra en la Figura 4.1). Cada uno de esos lugares contiene objetos típicos que se encuentran en la vida real. Los objetos cuentan con características como la luminosidad, movimiento, color, tamaño y textura.

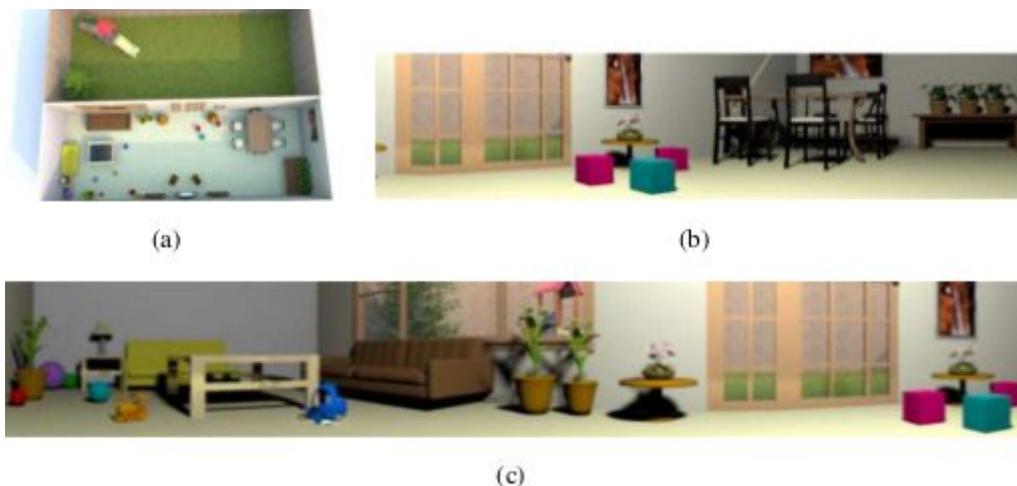


Figura 4.1. Ejemplo de un mundo virtual con el cual puede interactuar el agente:
(a) vista aérea y (b)-(c) dos vistas panorámicas interiores.
Imagen tomada de (Aguilar, 2015).

4.2 El agente virtual Jacques

Jacques es un agente que simula un desarrollo cognitivo dentro de un ambiente virtual. Su nombre hace referencia a una de las hijas de Jean Piaget llamada Jacqueline. El objetivo es inicializar a *Jacques* con esquemas característicos de la primera subetapa del periodo

sensoriomotor, y que éste sea capaz de crear nuevos comportamientos típicos de las siguientes subetapas de desarrollo.

4.2.1 Características físicas

Jacques es un personaje que tiene la apariencia de un “robot bebé”. Su cuerpo virtual cuenta con una cabeza, dos ojos, dos brazos, dos manos, dos piernas con pies y un tronco (ver Figura 4.2.1). Gracias a este cuerpo, puede realizar una serie de acciones que le permiten interactuar con su mundo (Actualmente sólo puede utilizar un ojo y mover su mano derecha). La Tabla 4.2.1 muestra una lista de las acciones que puede realizar el agente con su cuerpo.

Nombre de la acción externa	Descripción
<i>MHLeft</i>	Mueve la cabeza a la izquierda
<i>MHRight</i>	Mueve la cabeza a la derecha
<i>MHUp</i>	Mueve la cabeza hacia arriba
<i>MHDown</i>	Mueve la cabeza hacia abajo
<i>MHRightUp</i>	Mueve la cabeza hacia arriba y a la derecha
<i>MHRightDown</i>	Mueve la cabeza hacia abajo y a la derecha
<i>MHLeftUp</i>	Mueve la cabeza hacia arriba y a la izquierda
<i>MHLeftDown</i>	Mueve la cabeza hacia abajo y a la izquierda
<i>close hand</i>	Cierra la mano
<i>open hand</i>	Abre la mano
<i>HandLeft</i>	Mueve la mano a la izquierda
<i>HandRight</i>	Mueve la mano a la derecha
<i>HandUp</i>	Mueve la mano hacia arriba
<i>HandDown</i>	Mueve la mano hacia abajo
<i>HandForward</i>	Mueve la mano hacia el frente
<i>HandBackwards</i>	Mueve la mano hacia atrás
<i>random physical action</i>	Elige una acción de las anteriores de manera aleatoria.

Tabla 4.2.1. El repertorio inicial de acciones físicas, también llamadas acciones externas, que el agente puede realizar.

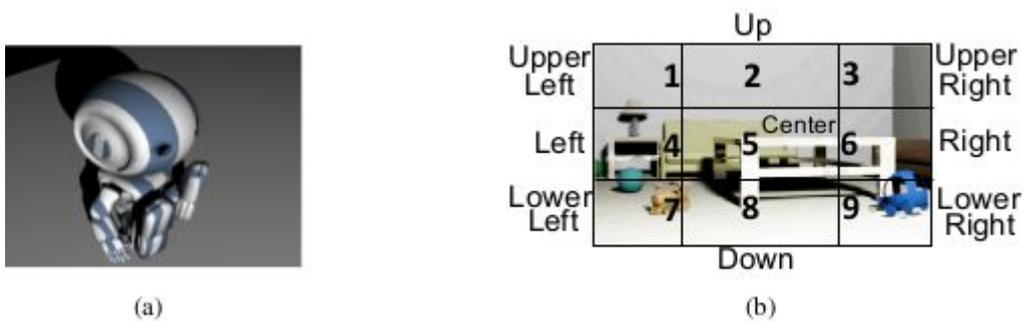


Figura 4.2.1. (a) El agente virtual que se desarrolla; (b) organización de su campo de visión.
Imagen tomada de (Aguilar, 2015).

El agente cuenta con una cámara virtual con un campo de visión de 60° , ubicada en su ojo derecho. Esta cámara toma imágenes de 180×120 píxeles, en donde cada pixel contiene valores rojo, verde y azul con valores enteros entre 0 y 255. Las imágenes que son tomadas por la cámara, se dividen en nueve zonas y el agente es capaz de determinar en qué zona se encuentra cada objeto a partir de su centroide (ver Figura 4.2.1).

El agente también cuenta con un sensor virtual de tacto ubicado en la palma de su mano derecha, que le permite identificar la presencia y la textura de los objetos que se intersectan con su mano. Adicionalmente *Jacques* puede determinar si su mano está abierta o cerrada.

En resumen, con la finalidad de reducir la complejidad del sistema, *Jacques* cuenta sólo con un sensor visual y uno táctil.

4.2.2 Características cognitivas

El agente implementa cinco principales características cognitivas:

1. Puede ver y tocar su mundo.
2. Simula un proceso de atención.
3. Simula respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones intrínsecas que le empujan a actuar.
4. Cuenta con una memoria.
5. Simula un proceso de adaptación a su medio ambiente.

4.2.3 El agente puede ver su mundo

La implementación del agente se realizó de acuerdo a la teoría de Piaget, la cual describe a la visión de los recién nacidos como manchas luminosas que aparecen, se mueven y desaparecen, sin ser capaces de seguirlas con la mirada. Piaget considera que la percepción de las formas, tamaños, distancias, relieve, etc. no son dadas de nacimiento y más bien se desarrollan con el tiempo.

Para simular este proceso, el agente cuenta con dos estructuras, la primera se llama “colores diferenciables”, que se compone inicialmente por tres variables que representan al rojo, verde y azul. La segunda se llama “tamaños diferenciables” que se compone inicialmente de dos variables que son pequeño y grande.

Cada vez que un objeto entra en su campo de visión, se incrementa en uno la variable que representa mejor al color y al tamaño del objeto. Cuando alguna variable alcanza un valor predefinido “N”, entonces se dice que tal característica ha recibido suficiente estimulación del ambiente, por lo tanto el agente ha adquirido la habilidad para reconocerla y utilizarla para la construcción de sus estructuras de conocimiento. Se le asigna un nombre arbitrario a cada característica de los objetos que el agente es capaz de reconocer, por ejemplo C_1 , C_2 , C_3 , ... a los colores y S_1 , S_2 , S_3 , ... para los tamaños.

En el momento en el que el agente es capaz de reconocer una nueva característica como el color, se incrementa su capacidad para diferenciar dos nuevas tonalidades de ese color, con sus variables iniciadas en cero. Por ejemplo si el agente es capaz de reconocer al color verde, entonces ahora tendrá la capacidad para diferenciar un tono de verde claro y uno oscuro. Lo mismo ocurre para los tamaños. Adicionalmente, al adquirir la habilidad de reconocer un nuevo color, se adquiere la habilidad para reconocer las combinaciones de ese nuevo color con los ya conocidos. Por ejemplo, si ya se reconoce a los colores rojo y azul, entonces al ver un objeto color magenta, los valores rojo y azul se incrementarán en uno, porque el color magenta es el resultado de la combinación de los colores rojo y azul. De este modo el agente logra reconocer progresivamente diferentes colores y tamaños, dependiendo de las características que hay en el ambiente.

4.2.4 El agente puede tocar su mundo

El agente es capaz de poder tocar su mundo a través del uso de su sensor de tacto, con el cual puede detectar la presencia de un objeto y su textura. Con respecto a la textura se puede llevar a cabo una diferenciación similar a la realizada en la visión, sin embargo por simplicidad se ha asumido que ha aprendido a reconocer un cierto número de texturas etiquetadas como t_1 , t_2 , t_3 , etc.

4.2.5 El agente simula un proceso de atención

Cada vez que el agente sensa su mundo selecciona aquel que tenga un mayor “valor de interés”. Para los objetos que ve, 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 ha establecido una respuesta afectiva, un estado emocional o una motivación. En el caso del tacto, debido a que el agente solo puede tocar un objeto a la vez, a todo lo que toca se le asigna un valor de interés v_t .

4.2.6 El agente simula respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones intrínsecas

El agente simula respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones intrínsecas que lo empujan a actuar, los cuales están inspirados en las ideas de Piaget referentes a la relación entre la afectividad y el desarrollo de la inteligencia.

- **Respuestas afectivas:** El agente simula diferentes respuestas afectivas: +2 para el nivel 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 generen placer con intensidad +1. Si el agente está atendiendo un objeto de su interés y desaparece, entonces asigna un placer de intensidad -1.
- **Estados emocionales:** El agente simula tres estados emocionales: interés, sorpresa y aburrimiento. Éstos se representan con 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 se ha perdido la percepción de un objeto de interés y al realizar una acción aleatoria se recupera dicha percepción. El estado emocional de aburrimiento se activa cuando el agente percibe a los mismos objetos con las mismas características un número consecutivo de veces.
- **Motivaciones intrínsecas:** El agente simula una motivación intrínseca llamada curiosidad cognitiva, que se activa cuando no se cumple alguna expectativa en la realización de un esquema.

4.2.7 El agente cuenta con una memoria

El agente puede almacenar su percepción del mundo en un contexto actual y cómo interactuar con él por medio de esquemas.

Contexto-actual

El contexto actual es una estructura que se compone del contexto-actual-visual (ver Figura 4.2.7.1) y del contexto-actual-táctil. Ambos contextos se componen de tres elementos: las características del objeto de atención, de las respuestas afectivas, estados emocionales y motivaciones que dicho elemento dispara, y de las expectativas actuales (ver Figura 4.2.7.2).

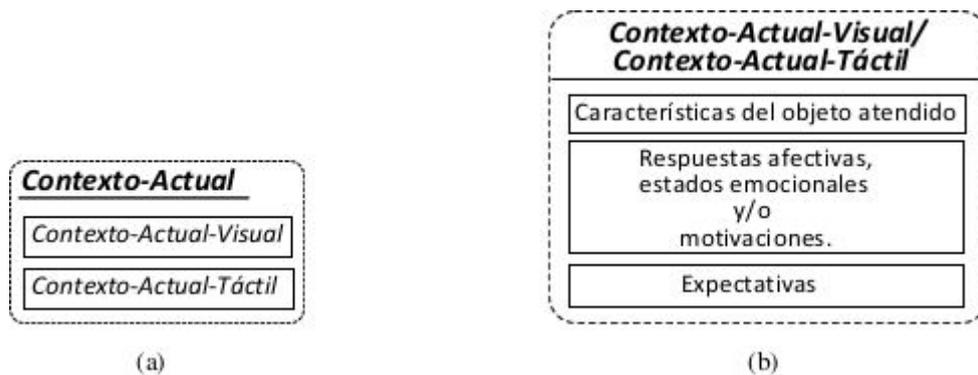


Figura 4.2.7.1 (a) La estructura del contexto-actual; (b) la estructura del contexto-actual-visual y del contexto-actual-táctil.

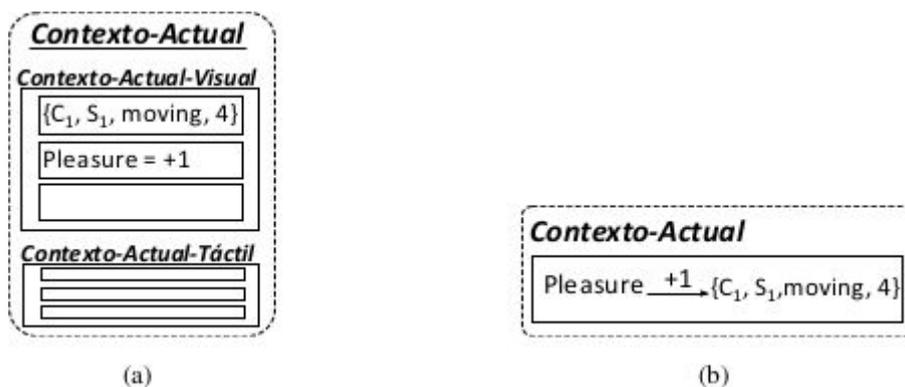


Figura 4.2.7.2 (a) Un ejemplo de un contexto-actual, el cual representa la pelota verde, pequeña, y brillante que estaba en movimiento y que le agradó al agente; (b) El mismo contexto-actual usando la notación alternativa.

Esquemas

En este trabajo se definen a las estructuras de conocimiento que simulan los esquemas sensoriomotores descritos por Piaget, y definidos por Guerin (2011b) como: *“Within constructivist theories the sensorimotor schema is held to be the principal unit of knowledge in use during infancy. A sensorimotor schema is a psychological construct which gathers together the perceptions and associated actions involved in the performance of one of the habitual behaviors in the infant’s repertoire. The schema represents knowledge generalized from all the experiences of that behavior. It includes knowledge about the context in which the behavior was performed as well as expectations about the effects. Sensorimotor schemas are central to Jean Piaget’s explanation of infant development”*. Inspirados en estas ideas, el agente cuenta con dos tipos de esquemas: básicos y desarrollados.

Los esquemas básicos representan comportamientos innatos y tendencias observadas por Piaget en los bebés, y están presentes en el agente desde su inicialización. Se representan como contextos asociados a acciones (ver Figura 4.2.7.3). Los contextos asociados son similares a los contextos actuales, con las diferencia de que solo contemplan al objeto atendido y que algunas variables pueden no estar instanciadas. Si todas sus variables están instanciadas, se dice que el esquema es de tipo T_0 , en otro caso es un esquema abstracto de tipo T_n donde n es el número de variables no instanciadas.

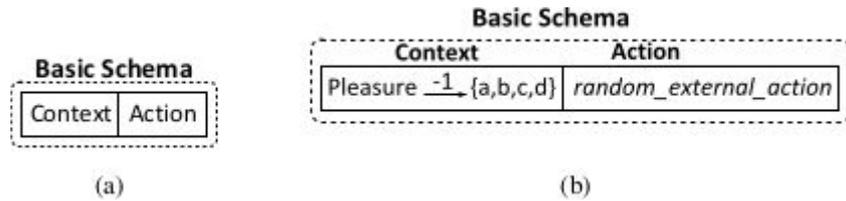


Figura 4.2.7.3 (a) La estructura de los esquemas básicos; (b) un ejemplo de un esquema básico

Los esquemas desarrollados se construyen conforme el agente interactúa con el ambiente y representan nuevos comportamientos. Se conforman de un contexto, una acción, un contexto esperado, contextos donde se cumplieron las expectativas “Contexts Expectations Fulfilled” y contextos donde no se cumplieron “Contexts Expectations NOT Fulfilled” (ver Figura 4.2.7.4).

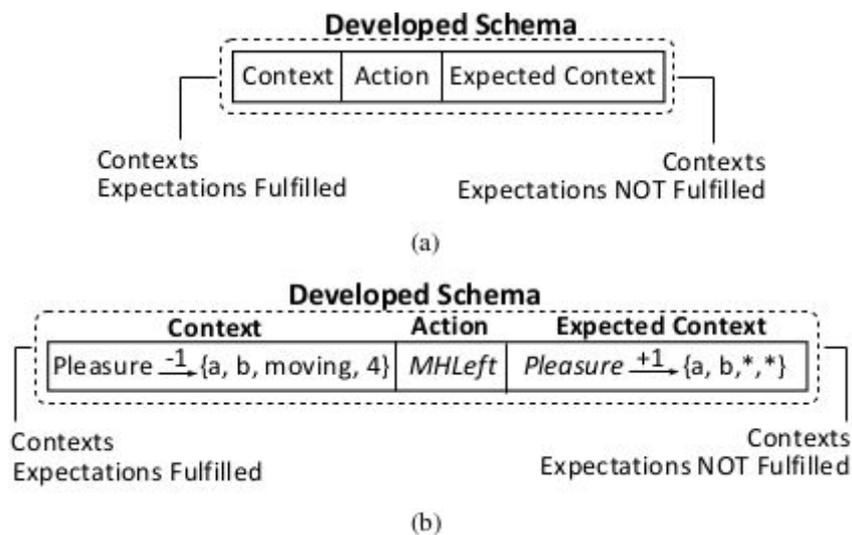


Figura 4.2.7.4 (a) La estructura de los esquemas desarrollados; (b) un ejemplo de un esquema desarrollado.

Se definen esquemas visuales a aquellos esquemas que solo hacen referencia a objetos visuales; esquemas táctiles a aquellos esquemas que solo hacen referencia a objetos táctiles y esquemas tacto-visuales cuando se hace referencia a ambos tipos de objetos.

4.2.8 El agente cuenta con mecanismos de adaptación

El agente cuenta con mecanismos de adaptación, los cuales simulan los procesos de *asimilación-acomodación-equilibración* descritos por Piaget, a través del modelo *Dev E-R* (*Developmental Engagement-Reflection*) descrito en la siguiente sección.

4.3 Interacción del Agente con su mundo

Cuando el agente comienza su ejecución se inicializa con una base de conocimiento que consiste en un conjunto de esquemas básicos, los cuales representan conductas reflejas. A partir de ahí, interactúa con el mundo siguiendo los siguientes pasos:

1. Sensa el ambiente a través de su cámara virtual y de su sensor táctil.
2. Crea un contexto-actual que representa su “percepción” actual de su entorno.
3. *Dev E-R* usa el contexto-actual para determinar la acción a realizar. Durante este proceso es posible que se lleve a cabo alguna modificación en la base de conocimiento (creación, eliminación o cambio de algún esquema).
4. Ejecuta la acción seleccionada.
5. Regresa al paso 1.

A los pasos del 1 al 4 se le llama ciclo de *percepción-acción*.

4.4 *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-Reflection* (Pérez y Pérez & Sharples, 2001, 2004; Pérez y Pérez, 2007). Este modelo, se encarga de usar y construir el conocimiento del agente, representado como esquemas sensoriomotores. Cuenta con dos formas de llevarlo a cabo, de manera automática a través del proceso de *Engagement*, y de manera analítica a través del proceso de *Reflection*.

4.4.1 Funcionamiento general

Dev E-R, selecciona un esquema donde el contexto coincida con el *contexto-actual*. Para hacer la selección, se da prioridad a los esquemas desarrollados, por encima de los básicos. Y de los esquemas desarrollados se da preferencia a aquél con un mayor número de objetos con los que se cumplieron las expectativas y con el que se espera recibir mayor placer. Cuando se ha seleccionado un esquema, se ejecuta su acción asociada y en caso de ser un esquema desarrollado, se registran sus expectativas en el *contexto-actual* y el ciclo continúa. Si ningún contexto de los esquemas coincide con el *contexto-actual*, se declara una situación de *impasse* para realizar una adaptación por asimilación o por acomodación.

4.4.2 Simulación del proceso de acomodación

La acomodación, en el sentido de Piaget, se refiere al proceso por medio del cual el niño modifica un esquema existente o forma uno completamente nuevo para lidiar con un objeto o evento desconocido (Ormrod 2012). Dev E-R lleva a cabo la acomodación en un ciclo continuo de generalizar y concretar, a través procesos de generalización y diferenciación:

1. La diferenciación ocurre cuando las expectativas de un esquema abstracto no se cumplen la mayoría de las veces, dando como resultado la creación de estructuras con más variables instanciadas.
2. La generalización ocurre en dos situaciones: 1) cuando el agente recupera por accidente un objeto de interés y generaliza a esa única experiencia en un esquema abstracto, y 2) cuando detecta que con una misma acción puede recuperar objetos con características diferentes, lo cual reemplaza esquemas concretos por uno que abarque a estos objetos.

Primeras generalizaciones: Creación de esquemas tipo T_n

El agente crea sus primeros esquemas cuando accidentalmente recupera un objetos de su interés. Basta con que un sólo objeto sea recuperado, para que uno de sus esquemas comience a registrar la expectativa de que con la misma acción puede recuperar cualquier otro objeto.

Primeras diferenciaciones: Creación de esquemas tipo T_0

Cada vez que un esquema desarrollado es utilizado, se registra si sus expectativas se han cumplido o no. Si no se han cumplido se dispara una motivación de curiosidad cognitiva que se registra en el contexto-actual y que indica que el esquema necesita ser modificado. Para modificar un esquema bajo estas circunstancias, se debe cumplir que engagement se haya utilizado un mínimo número de veces (p.e. $N_{UsedT4} = 50$) y que no se hayan cumplido las expectativas un porcentaje de veces (p.e. $P_{FailureT4} = 30\%$). Si esto ocurre se diferencia al esquema, al crear un esquema por cada objeto del cual se tenía la expectativa de recuperar en un cierto número de ocasiones (p.e. en $N_{trials} = 10$), y que de éstas lo haya recuperado un porcentaje de veces (p.e. $P_{successObj} = 80\%$). Estos nuevos esquemas son concretos o lo que es lo mismo, de tipo T_0 y reciben la experiencia registrada de los conjuntos *Contexts Expectations Fulfilled* y *Contexts Expectations NOT Fulfilled*.

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

Las generalizaciones y diferenciaciones continúan hasta que se han creado N_{T0} esquemas de tipo T_0 , con la misma acción asociada y relación afectiva. En ese momento se realiza un proceso de acomodación, el cual consiste en generalizar la 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 $T_{n-2} \dots T_0$

Si no se cumplen las expectativas un porcentaje de veces (p.e. $P_{FailureT3T2T1} \% = 50\%$), entonces se realiza un proceso de acomodación. Este proceso transforma estructuras de tipo T_m a estructuras 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 $P_{SuccessNew} \%$ 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 $P_{DeleteT3T2} \%$, 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 $P_{DeleteT0} \%$, y se tiene al menos N_{UsedT0} 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.

4.4.3 Simulación del equilibrio cognitivo

El proceso de acomodación, continúa hasta que llega el momento en el que el agente logra interactuar con su mundo durante N_c ciclos sin modificar su conocimiento, debido a que sus expectativas se cumplieron por lo menos en el $P_{Success} \%$ de las veces. En ese momento decimos que el agente ha entrado en un estado de *equilibrio cognitivo*, y a los esquemas que ha construido hasta el momento se les considera como *estabilizados*. Es decir, son estructuras de conocimiento que durante cierto tiempo ya no han sufrido ninguna modificación.

4.4.4 Simulación del proceso de asimilación

La asimilación se refiere al proceso de responder a nuevos hechos y situaciones en concordancia con lo ya conocido y recuperable de la memoria (Guerin 2011). En este sentido, *Dev E-R* simula el proceso de asimilación a través de la búsqueda de esquemas

que representen situaciones similares a la descrita en el *contexto-actual*. De esta manera, permite que el agente se adapte a las nuevas situaciones haciendo uso de su conocimiento adquirido en experiencias pasadas.

En un inicio, el *contexto-actual* debe de corresponder en un 100% con el contexto asociado a un esquema. Pero una vez que comienzan a existir esquemas estabilizados en la base de conocimiento del agente, éste comienza a permitir que haya correspondencias parciales. De tal forma, que cada vez que *engagement* busca una acción a realizar dada la situación actual, ejecuta el siguiente procedimiento:

1. Decide aleatoriamente si entrará en modo de engagement para realizar correspondencias parciales.
2. De lo contrario buscará esquemas con correspondencia completa.
3. Si se cumple el paso 1 o si no se encuentra algún esquema en el paso 2, entonces disminuye su porcentaje de correspondencia y vuelve a realizar la búsqueda. Las correspondencias parciales pueden darse de dos maneras. Primero, si el *contexto-actual* está compuesto de una sólo respuesta afectiva entonces se permite que alguno de los elementos de ésta difiera de alguno de los elementos 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, o en la textura o posición de la mano). Segundo, si el contexto-actual está compuesto de más de una respuesta afectiva entonces se permite que cada una de ellas se haga corresponder 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. Primero intenta corresponder parcialmente el *contexto-actual* con los esquemas que se estabilizaron durante la primera vez que el agente entró en equilibrio cognitivo. Si esto no fue posible, lo intenta con los esquemas que se estabilizaron en la segunda vez que el agente entró en equilibrio cognitivo. Y así, sucesivamente. Si al final de este proceso no logra realizar ninguna correspondencia parcial, entonces lo intenta con los básicos.
4. Si *engagement* no pudo encontrar ninguna correspondencia, entonces pasa a modo de *reflection*, en donde elige realizar una acción física aleatoria.
5. Si encontró uno o varios esquemas le asigna una mayor probabilidad de ser elegido a aquellos que tengan el mayor porcentaje de expectativas cumplidas y mayor placer esperado.
6. Se ejecuta su acción asociada al esquema seleccionado, el agente sensa nuevamente su mundo, actualiza su *contexto-actual*, y el ciclo se repite.

Si la estructura elegida por *engagement* es un esquema desarrollado que se seleccionó como resultado de una correspondencia parcial, y si después de aplicar su acción asociada sus expectativas se cumplen, entonces se 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 que éste vuelva a entrar en un estado de desequilibrio cognitivo. El agente permanece en este estado hasta que los nuevos esquemas logran estabilizarse. Así, al volver a entrar en

equilibrio cognitivo, los nuevos esquemas estabilizados comienzan a usarse entonces en la realización de correspondencias parciales, produciendo la creación de nuevos esquemas y provocando que éste entre nuevamente en un estado de desequilibrio cognitivo. De esta manera, el agente simula un proceso de adaptación que lo lleva a pasar de estados de desequilibrio, a estados de equilibrio, y de nuevo al desequilibrio.

4.5 Resultados obtenidos

Se realizaron 3 conjuntos de experimentos, en el primero el agente sólo podía ver su mundo, en el segundo el agente sólo podía tocar su mundo y en el tercero el agente podía ver y tocar su mundo.

4.5.1 Primer conjunto de experimentos: El agente solo puede ver su mundo

En este conjunto de experimentos el agente sólo puede ver y se encuentra deshabilitada su capacidad de palpar su mundo. Así que sólo es capaz de generar contextos visuales.

4.5.1.1 Primer ambiente: Sala de una casa

El agente inicia con dos esquemas básicos (ver Figura 4.5.1.1) que modelan dos tendencias innatas que Piaget observó en los recién nacidos: recuperar los estímulos placenteros y realizar un tanteo para recuperar algún objeto cuando desaparece.

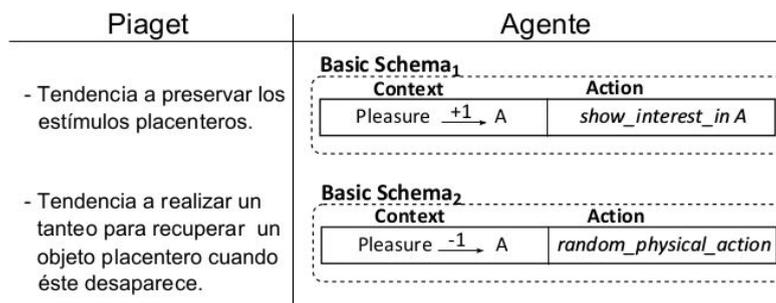
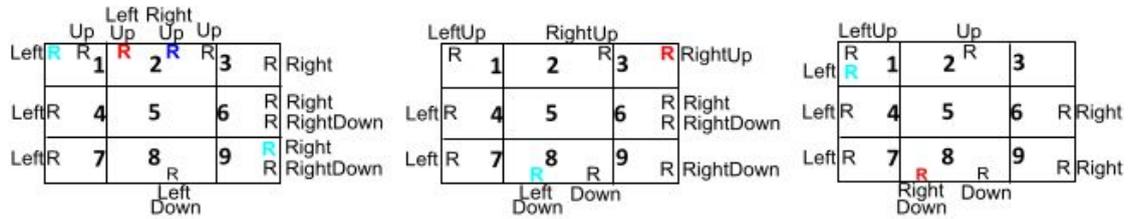


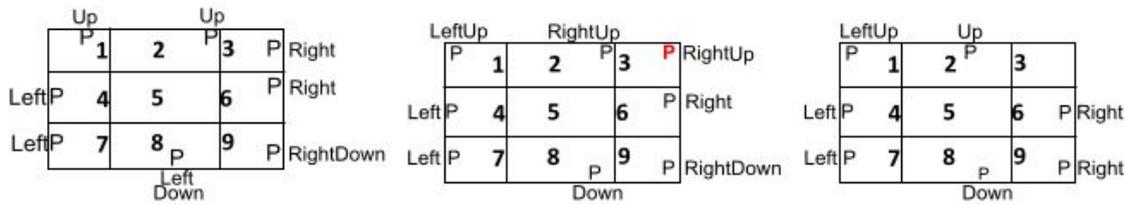
Figura 4.5.1.1 Esquemas básicos con los que inicia el agente.

El experimento se realiza tres veces dentro de un ambiente de la sala de una casa, con juguetes, plantas, muebles, etc. y 5 pelotas de diferentes colores que se mueven en diferentes momentos y direcciones predefinidas.

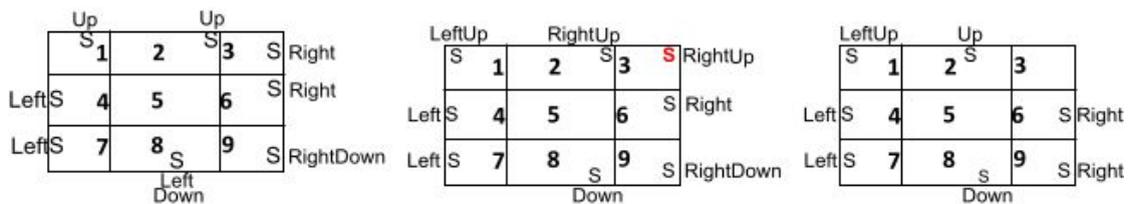
En la Figura 4.5.1.2 se muestran las habilidades adquiridas, representando con la letra R a las recuperaciones de objetos, la letra P para preservarlos y la letra S para marcar las áreas donde el agente aprendió alguna acción ya sea de recuperación o preservación. Los colores de las letras corresponden a si el agente aprendió a realizar esa acción sólo con respecto a los objetos con ese color. Durante la primera y segunda ejecución el agente adquirió la habilidad para recuperar con movimientos de la cabeza aquellos objetos de su interés que salían de su campo de visión. Durante la tercera ejecución, el agente aprendió a preservar el estímulo visual dentro de su campo de visión, al centrar a los objetos de su interés con movimientos de la cabeza.



(a) Primera ejecución: *recuperación* de objetos placenteros. (b) Segunda ejecución: *recuperación* de objetos placenteros. (c) Tercera ejecución: *recuperación* de objetos placenteros.



(d) Primera ejecución: *preservación* de objetos placenteros. (e) Segunda ejecución: *preservación* de objetos placenteros. (f) Tercera ejecución: *preservación* de objetos placenteros.



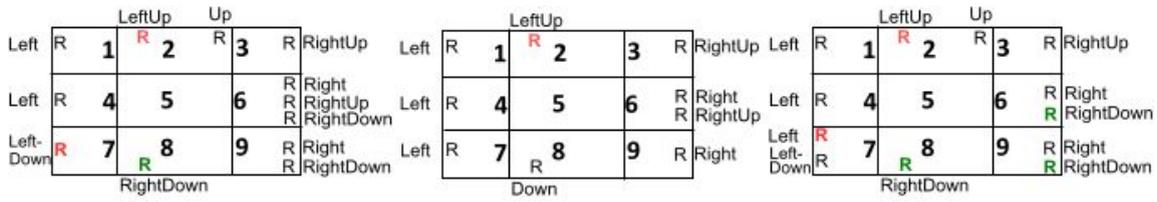
(g) Primera ejecución: *preservación* de objetos placenteros *estáticos*. (h) Segunda ejecución: *preservación* de objetos placenteros *estáticos*. (i) Tercera ejecución: *preservación* de objetos placenteros *estáticos*.

Figura 4.5.1.2 Habilidades adquiridas durante el primer experimento, la letra R corresponde a recuperaciones de objetos, la letra P su preservación y la letra S para marcar las áreas donde el agente aprendió alguna acción ya sea de recuperación o preservación. El color de cada letra corresponde a si el agente aprendió a realizar esa acción sólo con respecto a los objetos con ese color o en general (color negro).

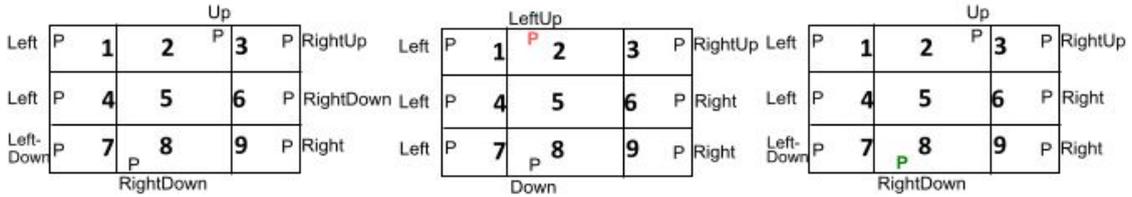
4.5.1.2 Segundo ambiente: Carretera de una ciudad.

El segundo experimento se llevó a cabo dentro de un ambiente virtual de una carretera de una ciudad, compuesto por bancas, árboles, postes, dos puentes y 2 automóviles (uno rojo y otro verde) que se movían a diferentes velocidades de derecha a izquierda. Y con los mismos esquemas iniciales del experimento anterior.

En la Figura 4.5.1.2.1 se muestran las habilidades adquiridas, representando con la letra R a las recuperaciones de objetos, la letra P para preservarlos y la letra S para marcar las áreas donde el agente aprendió alguna acción ya sea de recuperación o preservación. Los colores de las letras corresponden a si el agente aprendió a realizar esa acción sólo con respecto a los objetos con ese color. En esta ocasión aprendió igualmente a recuperar y preservar a los estímulos visuales de su interés con movimientos de la cabeza.



(a) Primera ejecución: *recuperación* de objetos placenteros. (b) Segunda ejecución: *recuperación* de objetos placenteros. (c) Segunda ejecución: *recuperación* de objetos placenteros.



(d) Primera ejecución: *preservación* de objetos placenteros. (e) Segunda ejecución: *preservación* de objetos placenteros. (f) Tercera ejecución: *preservación* de objetos placenteros.



(g) Primera ejecución: *preservación* de objetos placenteros *estáticos*. (h) Segunda ejecución: *preservación* de objetos placenteros *estáticos*. (i) Tercera ejecución: *preservación* de objetos placenteros *estáticos*.

Figura 4.5.1.2.1 Habilidades adquiridas durante el segundo experimento, la letra R corresponde a recuperaciones de objetos, la letra P su preservación y la letra S para marcar las áreas donde el agente aprendió alguna acción ya sea de recuperación o preservación. El color de cada letra corresponde a si el agente aprendió a realizar esa acción sólo con respecto a los objetos con ese color o en general (color negro).

4.5.2 Segundo conjunto de experimentos: El agente solo puede tocar su mundo

En este conjunto de experimentos, el agente es capaz de generar contextos táctiles, y se han deshabilitado los contextos visuales.

El agente inicia con tres esquemas básicos que modelan dos tendencias innatas que Piaget observó en los recién nacidos (ver Figura 4.5.2.1): recuperar los estímulos placenteros y realizar un tanteo para recuperar algún objeto cuando desaparece, así como cerrar la mano cuando un objeto entra en contacto con ésta.

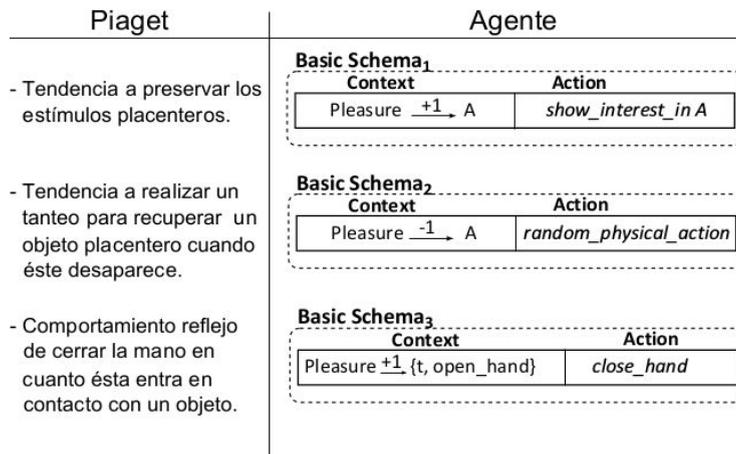


Figura 4.5.2.1 Esquemas iniciales para el segundo experimento.

Durante la ejecución de este experimento, se desarrollaron los esquemas de la Figura 4.5.2.2. El primer esquema describe que al perder el contacto táctil con un objeto teniendo la mano abierta, lo puede recuperar al volver a cerrar la mano. El segundo esquema cierra la mano al palpar algo y conservará al objeto. El tercer esquema describe que al sentir algo en su mano y mantener la acción de cerrar la mano, conservará al objeto.

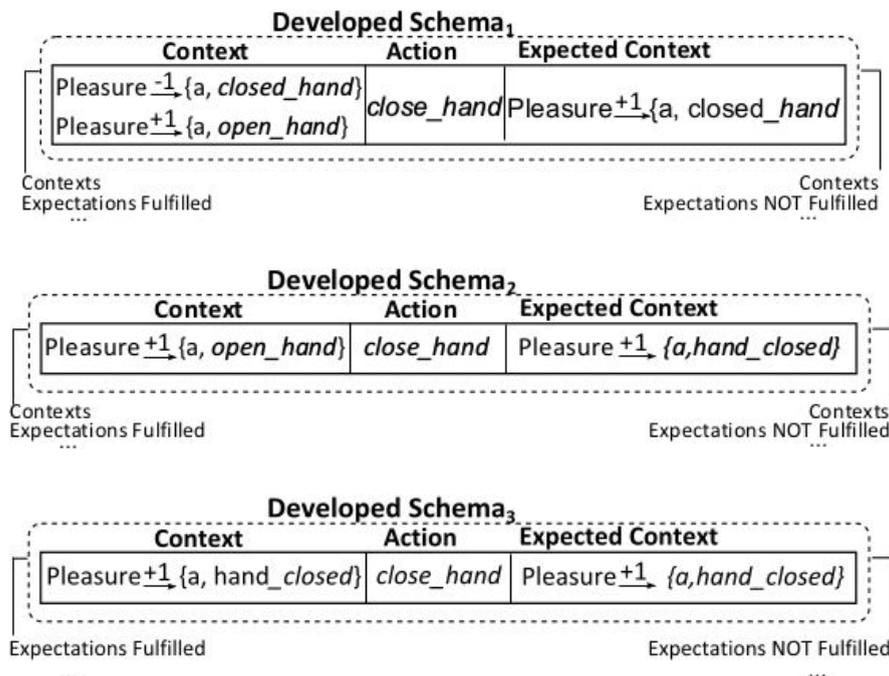


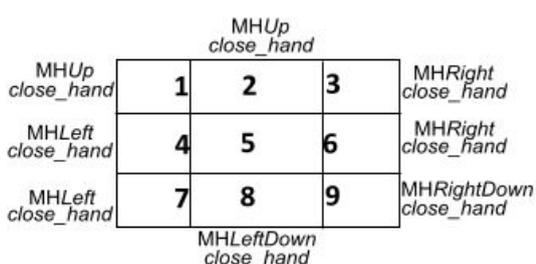
Figura 4.5.2.2 Esquemas aprendidos durante el desarrollo del segundo experimento. Schema₁: Recuperación del estímulo táctil al cerrar la mano. Schema₂: Preservación del estímulo táctil al cerrar la mano. Schema₃: Preservación del estímulo táctil al conservar la mano cerrada.

4.5.3 Tercer conjunto de experimentos: El agente puede ver y tocar su mundo

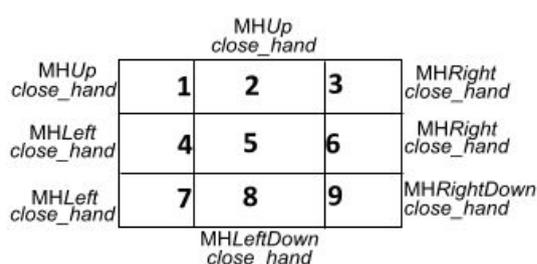
En este conjunto de experimentos el agente puede construir contextos compuestos de percepciones visuales y táctiles.

El agente inicia con los esquemas básicos iniciales de los dos experimentos anteriores y los esquemas desarrollados durante tales experimentos.

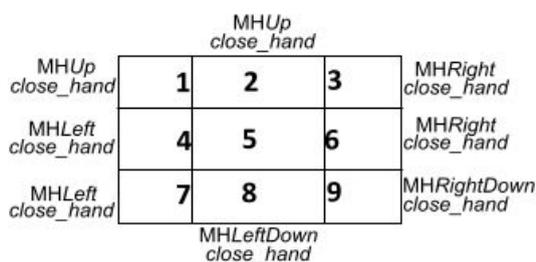
Durante la ejecución de este experimento, se desarrollaron los esquemas de la Figura 4.5.3. Estos esquemas permiten la preservación del estímulo táctil y la recuperación y preservación del estímulo visual.



(a) Conservar el objeto visual y el táctil.



(b) Conservar el objeto visual y recuperar el táctil.



(c) Recuperar el objeto visual (con un movimiento de la cabeza) y conservar el táctil.



(d) Recuperar el objeto visual (con un movimiento de la mano) y conservar el táctil.

Figura 4.5.3 Esquemas desarrollados durante el tercer experimento.

En resumen, los comportamientos que surgieron relacionados con la coordinación visión-tacto cuando el agente pudo tanto ver como tocar su mundo fueron los siguientes:

- 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 mantiene agarrado.
- 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 su mano que agarra un objeto y luego la regresa con un movimiento de la cabeza.

- Ver salir de su campo de visión su mano que agarra un objeto y luego la regresa con un movimiento de la mano.

4.5.4 Ejemplo paso a paso del desarrollo de los esquemas de tacto

Las siguientes figuras ilustran el proceso de generación de conocimiento del agente, cuando sólo podía tocar su mundo, con la capacidad visual deshabilitada.

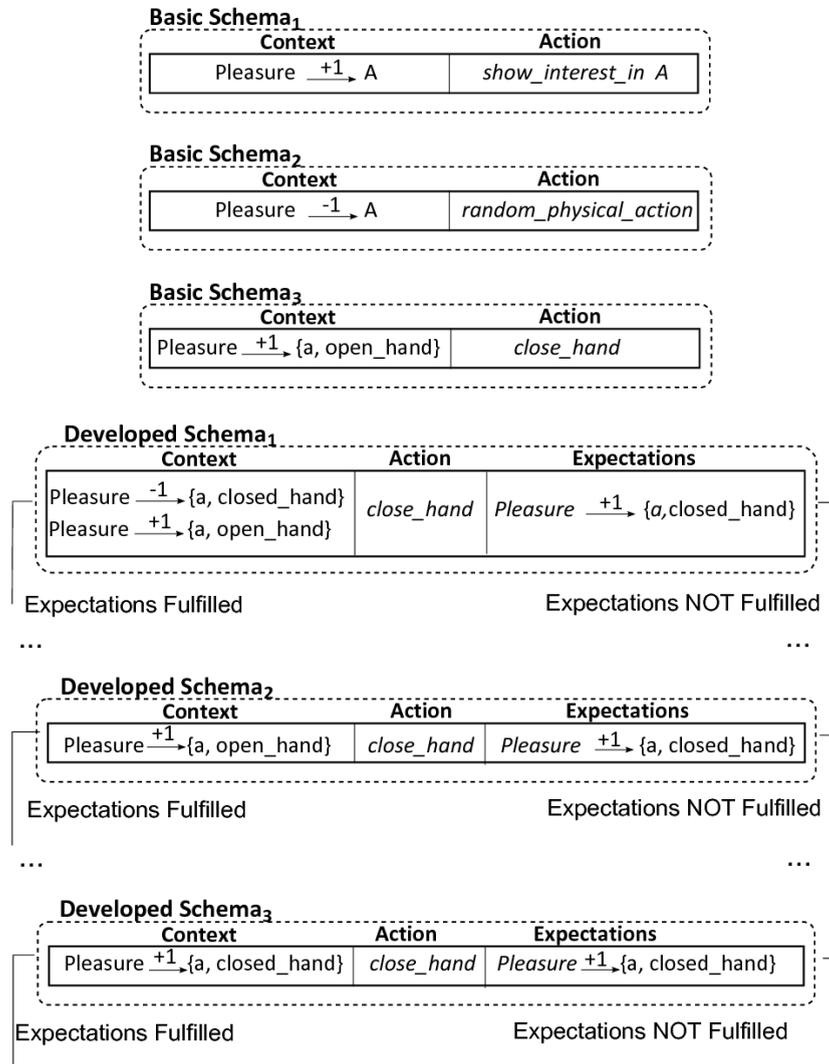


Figura 4.5.4.1 Conjunto de esquemas que forman parte de la base de conocimiento del agente en el ciclo 577.

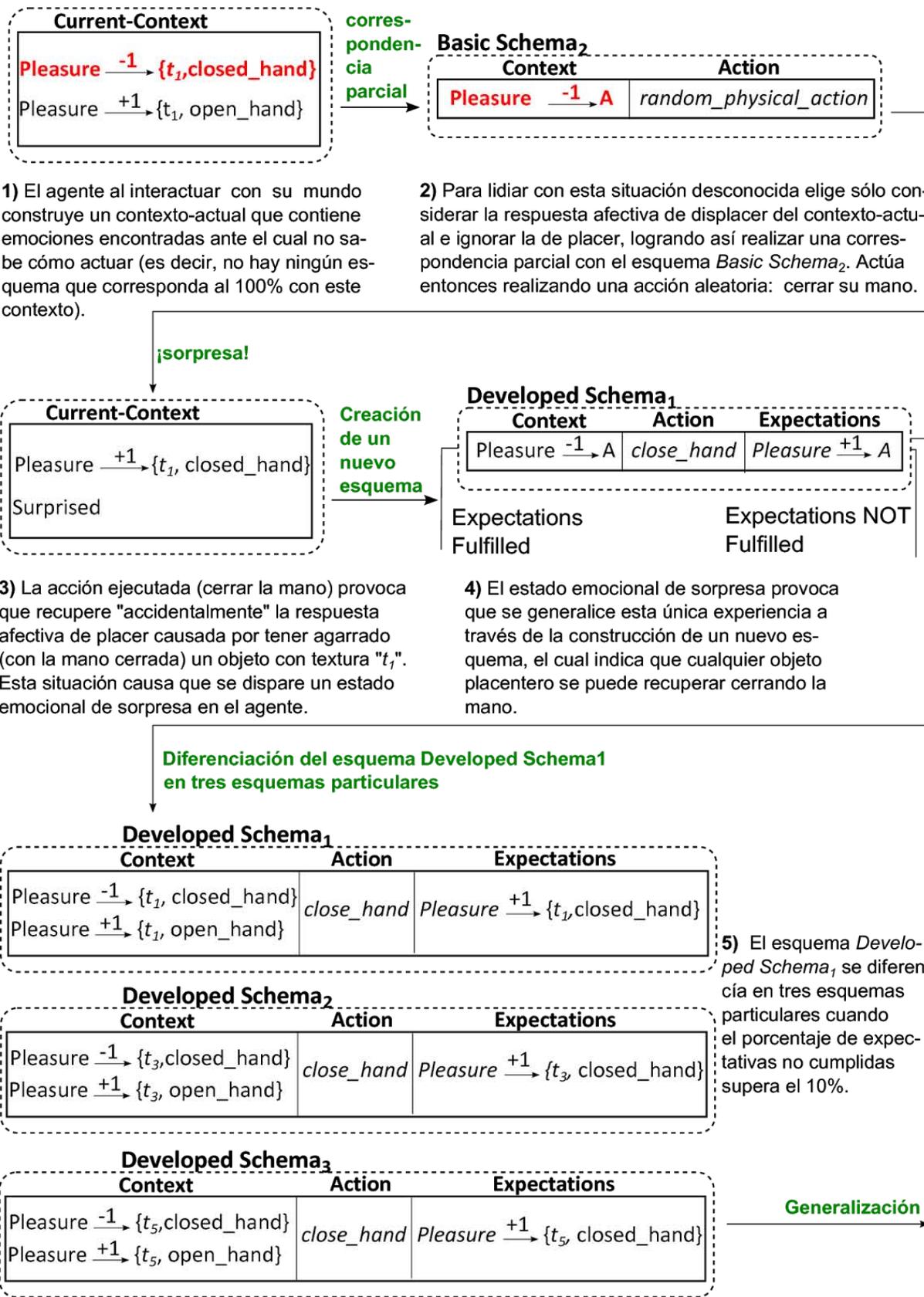
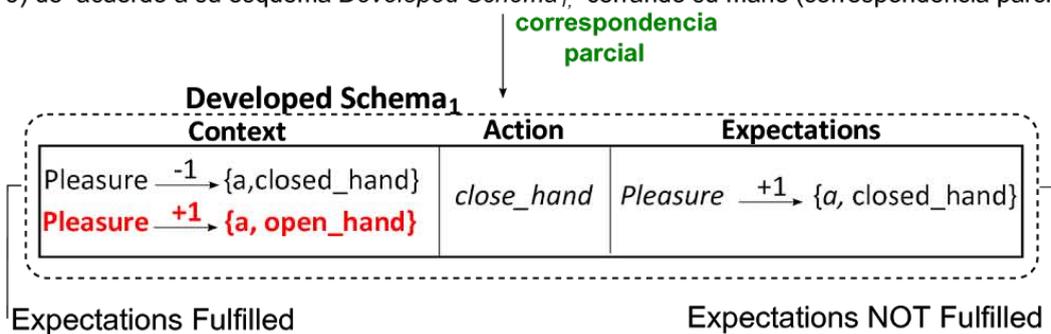
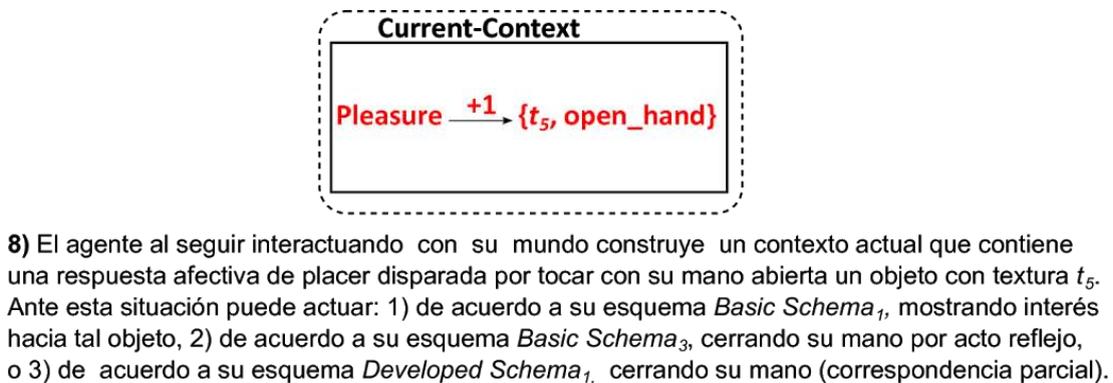
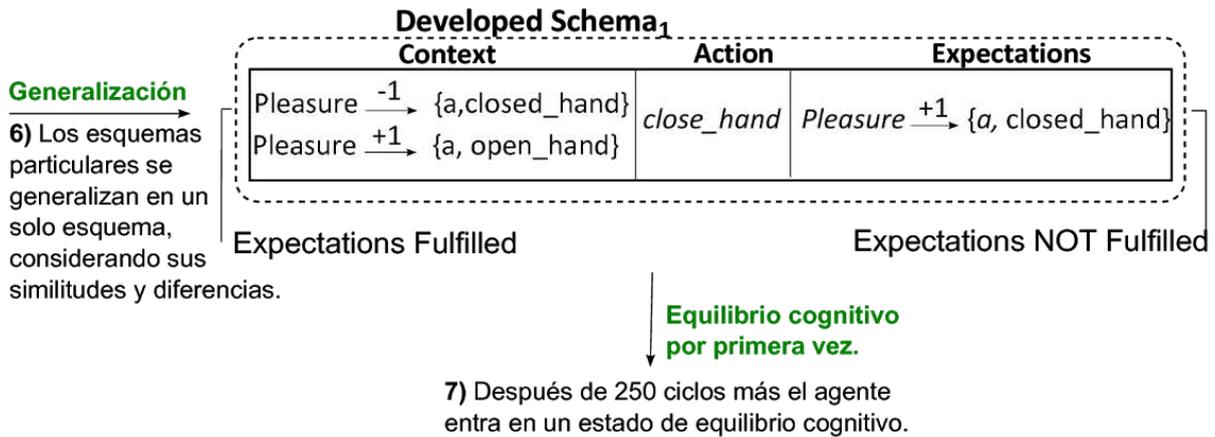
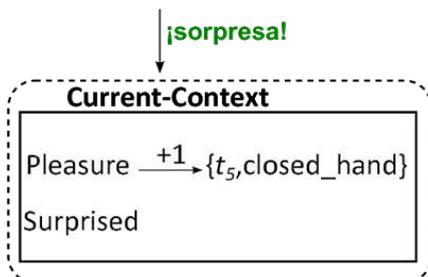


Figura 4.5.4.2 Resume el proceso de construcción del conocimiento del agente cuando éste puede tocar pero no ver su mundo.



9) Para lidiar con esta situación elige realizar una correspondencia parcial ignorando la respuesta afectiva de displacer del esquema *Developed Schema₁*, para sólo considerar la de placer. Actúa entonces cerrando su mano.



10) La acción ejecutada (cerrar la mano) provoca que se cumplan las expectativas asociadas al esquema *Developed Schema₁*, a pesar de que se eligió como resultado de una correspondencia parcial. Esta situación causa que se dispare un estado emocional de sorpresa en el agente.

Figura 4.5.4.3 Continuación (parte 2) del resumen del proceso de construcción del conocimiento del agente cuando éste puede tocar pero no ver su mundo.

5 El agente *PiaDev*: La reimplementación de *Jacques*

PiaDev es el nombre que ha tomado la nueva implementación del agente *Jacques*. En esta nueva versión se realizaron los siguientes cambios:

- **Memoria a corto plazo incremental:** Con esta memoria, el agente podrá recordar qué hizo y bajo qué circunstancias durante un número determinado e incremental de ciclos. Es decir, al inicio de su ejecución, la memoria de *PiaDev* sólo puede almacenar la última circunstancia a la que se enfrentó, así como la última acción realizada. Conforme éste va entrando en equilibrio cognitivo, su memoria se va expandiendo poco a poco permitiéndole recordar más circunstancias y acciones pasadas a las que se enfrentó.
- **Representación de los esquemas desarrollados por medio de estructuras de árbol:** El agente podrá construir a partir de su memoria a corto plazo, esquemas desarrollados que se entrelacen a manera de un grafo de árbol, permitiéndole adquirir habilidades que requieran la realización de una secuencia de acciones.
- **Reimplementación de los procesos de acomodación, los cuales ahora consideran la nueva representación de los esquemas desarrollados:** Los procesos de adquisición de conocimiento tienen que modificarse para tomar ahora en cuenta operaciones de inserción, modificación y eliminación de las ramas que componen a la nueva representación de los esquemas desarrollados.
- **Reimplementación de los procesos de asimilación para poder ahora realizar secuencias de acciones:** Ahora durante el proceso de la selección del esquema a utilizar en *engagement*, se integró la habilidad para utilizar a los esquemas desarrollados en estructuras de árbol. De modo que si queremos encontrar una correspondencia del contexto actual con los esquemas que integran a un árbol, sólo se buscará entre los contextos de los esquemas que son hojas de ese árbol. Y así se realizará con cada esquema y árbol en la memoria de largo plazo. En caso de encontrar la correspondencia, se intentará realizar las acciones definidas en ese esquema y en caso de cumplirse sus expectativas, *engagement* elegirá como siguiente esquema, al esquema ancestro del esquema hoja elegido previamente. *Engagement* repetirá este proceso hasta llegar al esquema raíz. En caso de no cumplirse la expectativa de alguno de estos esquemas, *engagement* interrumpirá su camino hacia el esquema raíz, y realizará ahora una búsqueda de correspondencia del *contexto-actual* en todos los esquemas de la memoria a largo plazo.

5.1 *PiaWorld* el mundo virtual de *PiaDev*

PiaWorld es el mundo virtual del agente *PiaDev*, el cual se diseñó de manera sencilla con la finalidad de simplificar y acelerar la ejecución de los experimentos. Anteriormente la interfaz de usuario contaba con dos vistas del espacio tridimensional en donde habitaba *Jacques*. En este nuevo sistema se cuenta con tres vistas: 1) panorámica (ver Figura 5.1.1), 2) desde el punto de vista del agente (ver Figura 5.1.2) y 3) perceptual (ver Figura 5.1.3). Adicionalmente pueden definirse en un archivo de configuración distintas posiciones de la cámara. Al ejecutar el sistema se puede navegar entre las distintas vistas, haciendo clic en la pantalla, comenzando por la perceptual, luego la sensada y después por las vistas definidas en el archivo de configuración (el cual se explica con detalle más adelante en esta misma sección).



Figura 5.1.1 Primera vista de la interfaz gráfica: Vista panorámica.
En esta vista se puede apreciar el ambiente de experimentación desde una vista amplia.



Figura 5.1.2 Segunda vista de la interfaz gráfica: Vista del agente.
En esta vista se puede apreciar el ambiente de experimentación desde el punto de vista del agente.

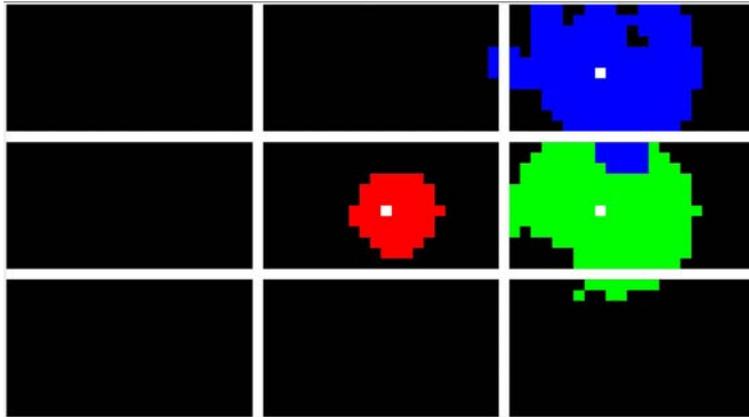


Figura 5.1.3 Tercera vista de la interfaz gráfica: Vista perceptual.

En esta vista se puede apreciar la cuadrícula de las 9 áreas de visión del agente, así como los objetos que percibe de acuerdo a los colores que conoce y el centroide de cada uno de ellos marcado por un punto blanco.

El software de simulación *PiaWorld* cuenta con dos interfaces de entrada y dos de salida. La primera interfaz de entrada consiste en un archivo de configuración (ver Figura 5.1.1.1) que contiene toda la información necesaria para crear el mundo virtual y al agente que se desarrolla en él. La segunda interfaz de entrada es a través de la pantalla en donde se muestran las vistas del mundo virtual, las cuales podemos intercambiar al dar clic sobre la visualización. Como interfaz de salida, primeramente se cuenta con las visualizaciones del mundo virtual que se muestran en pantalla. Como segunda interfaz de salida, se presenta en tiempo real, a través de la consola de comandos, la bitácora de actividades realizadas por el agente. Esta última también se almacena en un archivo de texto plano para su posterior revisión. El agente *PiaDev* se ejecutará hasta que éste llegue al *n*-ésimo equilibrio cognitivo (el valor de *n* se definió con el valor de tres para el contexto de esta tesis), o cuando éste sea interrumpido por el usuario al cerrar la ventana de simulación o al presionar *Ctrl + C* en la consola de comandos. Cuando su ejecución es interrumpida, el agente genera un archivo con todas las variables de estado de sí mismo, así como con todos los esquemas que generó durante su experiencia.

5.1.1 Archivo de configuración

La primera interfaz de entrada de *PiaDev*, consiste de un archivo de configuración, con la siguiente estructura:

Sh3d: La ruta al archivo que contiene la descripción del mundo tridimensional y del agente.

Latency: El número de milisegundos a esperar entre cada paso en la simulación.

Photos: Determina si se guardarán las imágenes de lo que el agente percibe visualmente.

ICamera: Posiciones de la cámara para navegar por el mundo como usuario.

IBall: Nombres de los objetos(pelotas) con los cuales podrá interactuar el agente, y a los que se les asigna una trayectoria cíclica en coordenadas x,y,z.

Agent:

- **Head:**

- **name:** Nombre del elemento gráfico correspondiente a la cabeza dentro del mundo virtual.

- **Vision:**
 - **Field:** Amplitud del campo visual del agente.
 - **Factor:** La granularidad de la visión del agente.
 - **Vertical:** La cantidad de áreas visuales verticales.
 - **Horizontal:** La cantidad de áreas visuales horizontales.
- **Step:**
 - **y:** Longitud del paso para cada movimiento arriba-abajo.
 - **yn:** Pasos permitidos arriba-abajo a partir de la posición inicial.
 - **a:** Ángulo de rotación para cada movimiento derecha-izquierda.
 - **an:** Pasos permitidos derecha-izquierda a partir de la posición inicial.
- **Hand:**
 - **name:** Nombre del elemento gráfico correspondiente a la mano dentro del mundo virtual.
 - **Step:**
 - **x:** Longitud del paso para cada movimiento derecha-izquierda.
 - **xn:** Pasos permitidos derecha-izquierda a partir de la posición inicial.
 - **y:** Longitud del paso para cada movimiento arriba-abajo.
 - **yn:** Pasos permitidos arriba-abajo a partir de la posición inicial.
 - **z:** Longitud del paso para cada movimiento adelante-atrás.
 - **zn:** Pasos permitidos adelante-atrás a partir de la posición inicial.
- **Cognition:**
 - **equilibrium:**
 - **Actual:** El número de equilibrio cognitivo inicial.
 - **stabilization:** Número de Ciclos necesarios para alcanzar un equilibrio cognitivo.
 - **Attention:**
 - **Visual:** Habilita la percepción visual.
 - **VisualMinimumSize:** El tamaño mínimo (en número de píxeles) de los objetos a percibir.
 - **Tactile:** Habilita la percepción táctil.
 - **Scalar:** El porcentaje de atención hacia los objetos de interés.
 - **Bored:** Cantidad de veces que necesita atender un objeto para aburrirse.
 - **Schemes:**
 - **Used:** Número de veces que se debe usar un esquema antes de ser acomodado.
 - **Success:** Porcentaje de éxito necesario para ser acomodado.
 - **Deep:** Longitud de la memoria a corto plazo.
 - **PartialMatching:**
 - **Probability:** Probabilidad de coincidencias parciales en engagement.
 - **Minimum:** Porcentaje mínimo de coincidencia para engagement.
- **IColor:** Lista de colores conocidos.
- **ISize:** Lista de tamaños conocidos.
- **ITexture:** Lista de texturas conocidas.
- **IScheme:** Lista de esquemas conocidos

Un ejemplo de un archivo de configuración para el sistema de simulación PiaWorld es el siguiente:

```

{
  "sh3d": "files/RoomFull.sh3d",
  "latency": 0,
  "photos": false,
  "lCamera": [
    { "x": 450, "y": 450, "z": 150, "yaw": 2.5, "pitch": 0.3, "fieldOfView": 0 }
  ],
  "lBall": {
    "Ball.green": [[250, 268, 33.5]],
    "Ball.red": [[280, 238, 33.5]],
    "Ball.ored": [[10290, 10271.5, 1033.5]]
  },
  "Agent": {
    "head": {
      "name": "Agent.head",
      "vision": { "field": 1.3, "factor": 0.045, "vertical": 3, "horizontal": 3 },
      "step": { "y": 15, "yn": 2, "a": 0.475, "an": 2 }
    },
    "hand": {
      "name": "Agent.rightHand",
      "step": { "x": 0.475, "xn": 2, "y": 15, "yn": 2, "z": 3, "zn": 1, "o": 0.15, "on": 1 }
    },
    "cognition": {
      "equilibrium": { "actual": 0, "stabilization": 5000 },
      "attention": {
        "visual": true,
        "visualMinimumSize": 0.01,
        "tactile": true,
        "scalar": 0.7,
        "bored": 5
      }
    },
    "schemes": { "used": 10, "success": 90, "deep": 3 },
    "partialMatching": { "probability": 0.1, "minimum": 20 }
  },
  "lColor": [
    [ "c1", [0, 0, 255], 0 ], [ "c2", [0, 255, 0], 0 ], [ "c3", [255, 0, 0], 0 ]
  ],
  "lSize": [
    [ "s0.01", 0.01, 0 ], [ "s0.1", 0.1, 0 ], [ "s1", 1, 0 ]
  ],
  "lTexture": [
    [ "t1", [0, 0, 255], 0 ], [ "t2", [0, 255, 0], 0 ], [ "t3", [255, 0, 0], 0 ]
  ],
  "lScheme": [
    { "id": "1", "context": [ [,-1] ], "lAction": [ "random" ] },
    { "id": "2", "context": [ [ "T", 1, , "handOpen" ] ], "lAction": [ "handClose" ] },
    { "id": "3", "context": [ [ "V", 1, , , ] ], "lAction": [ "showInterestIn V" ] },
    { "id": "4", "context": [ [ "T", 1, , ] ], "lAction": [ "showInterestIn T" ] },
    { "id": "5", "context": [ [ "V", 2, , , ] ], "lAction": [ "changeAttention V" ] },
    { "id": "6", "context": [ [ "T", 2, , ] ], "lAction": [ "changeAttention T" ] },
    { "id": "7", "context": [ [ "T", 2, , ] ], "lAction": [ "ShowInterestIn V" ] }
  ]
}

```

Figura 5.1.1.1 Ejemplo de un archivo de configuración.

5.1.2 Bitácora en consola

La siguiente Figura 5.1.2.1 es un ejemplo de la bitácora que se imprime en la consola a cada paso:

```
Perception -> Actions:
~ Tried [random]
  ~ Mind [] success.
  ~ Body [handOpen] success.
Perception -> Interested in:
~ [["V",1,"c3","s0.06","moving",2]]
Perception -> Rate attention:
~ 60.0% ["V",1,"c3","s0.07","moving",1]
~ 40.0% ["V",1,"c1","s0.03","static",2]
Perception -> Attended context:
~ [["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
Perception -> Experience short-term memory:
#107 0e 100% 1h 1.0r [["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]-[handOpen]->["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
  #108 0e 100% 1h 1.0r [["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]-[handDown]->["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
  #109 0e 100% 1h 1.0r [["V",1,"c3","s0.06","static",2]]-[handClose]->["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
Perception -> Perception short-term memory:
#102 0e 100% 1h 1.0r [["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]-[handOpen]->["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
  #103 0e 100% 1h 1.0r [["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]-[handDown]->["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
  #104 0e 100% 1h 1.0r [["V",1,"c3","s0.06","static",2]]-[handClose]->["V",1,"c3","s0.07","moving",1]]
Perception -> Emotional:
~ Bored.
~ Not surprised.
~ Not curious.
Engagement -> Schemes:
#13 0e 100% 1h 3.0r []-[]->["V",2,,,,], ["T",1,,]
  #15 0e 0% 0h 3.0r []-[]->[]
#1 0e 0% 0h 0.0r [[,1]]-[random]->[]
#2 0e 0% 0h 0.0r [["V",1,,,,]]-[showInterestIn V]->[]
#3 0e 0% 0h 0.0r [{"T",1,,}]-[showInterestIn T]->[]
Reflection -> Impasse:
{
  "id": "9",
  "equilibrated": 0,
  "context": [],
  "lAction": ["random"],
  "expected": [],
  "success": [
  ],
  "failure": [
  ],
  "lScheme": [
  ]
}
Cognition -> Equilibrium 0:
~ 12 Steps.
~ 11/1000 Stable.
~ 4 Structures.
~ 5 Schemes.
```

Figura 5.1.2.1 Ejemplo de bitácora en consola.

La descripción es la siguiente:

Perception -> Actions: Acciones intentadas *tried*, las realizadas por la mente y cuerpo.

Perception -> Interested In: Contexto visual y/o táctil en que el agente está interesado.

Perception -> Rate attention: Contextos a valorar para atender.

Perception -> Attended: El contexto atendido.

Perception -> Experience short-term memory: Memoria de experiencia a corto plazo.

Perception -> Perception short-term memory: Memoria de percepción a corto plazo.

Perception -> Emotional: Valores de la percepción emocional.

Engagement -> Schemes: Los esquemas en la memoria a largo plazo.

Reflection -> Impasse: Cambia de nombre y muestra la selección de esquemas.

Cognition -> Equilibrium: Número de equilibrio cognitivo y estadísticas.

5.2 Características físicas

Las acciones físicas que puede realizar *PiaDev* son las mismas que las que podía realizar *Jacques*, con las siguientes restricciones definidas como variables de configuración (ver Tabla 5.2.1).

Acciones	Variables de configuración relacionadas
<i>headUp headDown</i> <i>headLeft headRight</i> <i>headLeftUp</i> <i>headLeftDown</i> <i>headRightUp</i> <i>headRightDown</i>	Head/Step/a: Define cuántos radianes se moverá la cabeza, en cada paso, hacia la derecha o izquierda. Head/Step/an: Define cuántos movimientos se podrán hacer a partir de la posición inicial. Head/Step/y: Define cuántos centímetros se moverá la cabeza, en cada paso, hacia arriba o abajo. Head/Step/yn: Define cuántos movimientos se podrán hacer a partir de la posición inicial.
<i>handRight</i> <i>handLeft</i>	Hand/Step/x: Define cuántos radianes se moverá la mano, en cada paso, hacia la derecha o izquierda. Hand/Step/xn: Define cuántos movimientos se podrán hacer a partir de la posición inicial.
<i>handUp handDown</i>	Hand/Step/y: Define cuántos centímetros se moverá la mano, en cada paso, hacia arriba o abajo. Hand/Step/yn: Define cuántos movimientos se podrán hacer a partir de la posición inicial.
<i>handBackwards</i> <i>handForward</i>	Hand/Step/z: Define cuántos centímetros se moverá la mano, en cada paso, hacia adelante o atrás. Hand/Step/zn: Define cuántos movimientos se podrán hacer a partir de la posición inicial.
<i>handClose</i> <i>handOpen</i>	Hand/Step/o: Define el porcentaje de cambio del tamaño de la mano a lo alto, cuando se cierre la mano. Hand/Step/on: Define cuántas veces se podrá realizar este movimiento. Para este caso en particular el número máximo es 1.

Tabla 5.2.1 Lista de todas las acciones físicas que puede realizar *PiaDev*, junto con sus variables relacionadas de configuración.

En la Tabla se describen las variables de configuración que limitan a los movimientos físicos del agente, en parejas que se conforman de un valor de magnitud del movimiento y el número de veces que puede realizarse dicha acción con respecto a su posición inicial. Por ejemplo, el agente comienza con la cabeza mirando hacia el frente, y si definimos a la variable *Head/Step/a* con un valor de un cuarto de radián, y a *Head/Step/an* con un valor igual a 2, entonces la cabeza podrá moverse hacia la derecha dos veces con respecto a la

mirada al frente, tanto a la derecha como a la izquierda y girará un cuarto de radián por cada movimiento.

5.3 Características cognitivas

Los principales cambios que se realizaron en la reimplementación del agente, con respecto a sus características cognitivas, se resumen en la Tabla 5.3.1.

CARATERÍSTICA	MODIFICACIONES
<i>Percepción visual</i>	El nuevo agente <i>PiaDev</i> no desarrolla la habilidad de reconocer diferentes colores con el tiempo, desde un inicio se le otorga en el archivo de configuración, la lista de colores que conoce. Esta habilidad es deseable en el nuevo agente, pero no era necesaria para este trabajo. Del mismo modo, la detección visual de objetos se simplificó al utilizar el algoritmo de relleno por difusión <i>flood fill</i> ¹ a partir de los puntos que coinciden con los colores conocidos dentro de un umbral, logrando que todos los objetos que no son parte de los experimentos “desaparezcan”.
<i>Percepción táctil</i>	Sin modificaciones.
<i>Proceso de atención</i>	Sin modificaciones.
<i>Respuestas afectivas</i>	Sin modificaciones.
<i>Estado emocional de interés</i>	Se añadió la acción interna “changeAttention A”, que lo que hace es cambiar el interés hacia un objeto visual o táctil, por el siguiente objeto evaluado con mayor interés durante la construcción del contexto actual.
<i>Estado emocional de sorpresa</i>	El estado emocional de sorpresa se cambió de activarse cuando se recupera un objeto por accidente y cuando realiza una correspondencia parcial y a pesar de ésto se cumplen las expectativas, a activarse adicionalmente cada vez que se obtenga una respuesta afectiva mayor a la descrita en la expectativa del esquema realizado.
<i>Estado emocional de aburrimiento</i>	Se hicieron cambios a los criterios de activación del estado emocional de aburrimiento, de manera que ahora se activa al ver al mismo objeto más de “NBored” veces, y de manera aleatoria con una probabilidad de “PBored”. Este cambio fue

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_de_relleno_por_difusión

necesario para evitar que el agente construyera esquemas que generan ciclos de los cuales no pudiera salir. Por ejemplo, que construyera un esquema en donde moviera su mano del centro de su campo de visión a la periferia y luego de nuevo al centro de su campo de visión. El agente ahora es capaz de salir de este tipo de ciclos al aburrirse de manera aleatoria con una probabilidad de "PBored".

Tabla 5.3.1 Principales cambios en PiaDev.

5.4 El agente cuenta con una memoria

PiaDev cuenta con una memoria a largo plazo y una a corto plazo, al igual que su versión pasada. Sin embargo, en esta implementación se le agregaron nuevas características: 1) la memoria a largo plazo ahora organiza los esquemas desarrollados con estructuras de árboles que son más eficientes, y 2) la capacidad de su memoria a corto plazo se va incrementando conforme el agente se va desarrollando.

Adicionalmente, en esta nueva implementación del agente se usó la notación de JSON para representar su conocimiento. JSON es un formato de texto para intercambio de datos ampliamente utilizado debido a su facilidad de uso, ya que permite representar de manera clara estructuras de datos y a que los archivos guardados en este formato se pueden ver y editar con cualquier editor de texto.

5.4.1 Representación de contextos y expectativas en JSON

Para representar contextos y expectativas, utilizaremos la siguiente notación de JSON.

Los contextos del agente se describen dentro de corchetes cuadrados:

```
[ ] Contexto vacío
```

Un contexto que describe solo a la intensidad de la respuesta afectiva se define dentro de corchetes cuadrados anidados al contexto principal como sigue:

```
[ [, intensidad de la respuesta afectiva ] ]
```

El primer campo queda vacío porque podría corresponder a un contexto visual o a uno táctil y el segundo campo corresponde a la intensidad de la respuesta emocional. Si por ejemplo queremos un contexto que describa a contextos táctiles o visuales con respuestas afectivas de 1, se representaría como sigue:

```
[ [, 1 ] ]
```

Un contexto que describa únicamente percepciones visuales se define dentro de corchetes cuadrados, anidados al contexto principal con los siguientes datos:

```
[["V",intensidad de la respuesta  
afectiva,color,tamaño,"static"/"motion",posición]]
```

Por ejemplo, un contexto actual que describe una situación en la que el agente tiene una respuesta emocional de 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 define como:

```
[["V",1,"c1","s8","static",6]]
```

Similarmente, una expectativa que describa una situación en la que el agente espere como consecuencia de sus acciones disparar agrado hacia un objeto visual de cualquier color, estático o en movimiento, y en cualquier posición de su campo de visión se define como:

```
[["V",1,,,,,]]
```

Para el caso de los contextos que sólo describen percepciones táctiles se definen como:

```
[["T",intensidad de la respuesta  
afectiva,textura,"handOpen"/"handClosed"]]
```

Por ejemplo, una situación en la que el agente dispare una respuesta emocional de 1 hacia un objeto táctil, con textura "t3", que esté sintiendo con su mano abierta, se define como:

```
[["T", 1, "t3", "handOpen"]]
```

Análogamente, una expectativa que indique que el agente espera disparar una respuesta emocional de 1 hacia un objeto táctil, con cualquier textura, con su mano abierta o cerrada, se define como:

```
[["T3", 1 , , ,]]
```

Finalmente, si el contexto describe tanto percepciones visuales como táctiles, su notación incluye dos corchetes anidados de la siguiente manera:

```
[[contexto visual],[contexto táctil]]
```

Por ejemplo, si el agente se encuentra en una situación en la que disparó placer hacia dos objetos; uno visual de color "c1", tamaño "s2", estático, que lo ve en la posición 4 de su campo de visión, y otro táctil con textura "t2" que siente con su mano abierta; entonces su contexto actual correspondiente se define como:

```
[["V", 1, "c1", "s2", "static", 4],[["T", 1, "t2", "handOpen"]]]
```

5.4.2 Memoria a corto plazo

La memoria a corto plazo de PiaDev tiene la capacidad de recordar un cierto número de contextos, acciones y consecuencias de éstas, que realizó en su pasado inmediato. Este número está definido por la variable *NFrames*, a la cual se le asigna inicialmente el valor de 1 (es decir, sólo puede recordar el último *contexto-acciones-consecuencia* que realizó) y ésta se va incrementando automáticamente conforme el agente se desarrolla. En la Tabla 5.4.2.1 se muestra una memoria que tiene la capacidad de recordar *NFrames* = 3 experiencias:

Tiempo	Contexto	Acciones	Consecuencias
t	["V",1,"c3","s0.02","static",6]	MHRight	["v",2,"c1","s0.01","static",5]
t-1	["V",1,"c3","s0.07","moving",6]	handLeft	["V",1,"c3","s0.02","static",6]
t-2	["V",1,"c3","s0.07","moving",6]	handOpen	["V",1,"c3","s0.07","moving",6]

Tabla 5.4.2.1 Ejemplo del contenido de la memoria a corto plazo

En donde la primer columna corresponde al tiempo, y el resto de las columnas describen el contexto, las acciones realizadas y el contexto resultante. Cabe destacar que las consecuencias de las acciones realizadas en el tiempo *t-1* coinciden con el *contexto-actual-visual* y/o táctil del tiempo *t*.

5.4.3 Memoria a largo plazo

La memoria a largo plazo está compuesta de un conjunto de esquemas básicos y desarrollados como se describe a continuación.

Representación de esquemas básicos en JSON

Un esquema básico se representa de la siguiente manera en JSON (ver Figura 5.4.3.1).

```

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

```

Figura 5.4.3.1 Representación compacta de un esquema básico

Donde “id” corresponde a un identificador único del esquema en la base de conocimiento, “context” es su contexto asociado y “lAction” es su lista de acciones asociadas. Por ejemplo, el siguiente esquema básico (ver Figura 5.4.3.2) representa la predisposición innata del agente de realizar un tanteo para recuperar objetos agradables que acaba de perder.

```

{
  "id": "1",
  "context": [[,-1]],
  "lAction": ["random"],
}

```

Figura 5.4.3.2 Representación de un esquema básico

Representación de esquemas desarrollados en JSON

Un esquema desarrollado se representa de la siguiente manera en JSON (ver Figura 5.4.3.3).

```

{
  "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 5.4.3.3 Representación de un esquema desarrollado

Donde “id” corresponde a un identificador único de esquema en la base de conocimiento, “equilibrated” es un número entero relacionado con el proceso de equilibrio cognitivo que se explicará en el siguiente capítulo, “context” es el contexto asociado al esquema, “lAction” es la lista de acciones asociadas, “expected” es el contexto esperado , “success” es una lista de los contextos y el número de veces en los cuales el esquema se ha realizado con éxito, “failure” los contextos y el número de veces en los cuales el esquema se ha realizado sin

éxito, y "IScheme" es una lista de esquemas que se utiliza para la organización de las estructuras de conocimiento en la memoria del agente.

Esquemas desarrollados en forma de árbol

Un esquema desarrollado en forma de árbol está definido como una estructura de conocimiento formada por un esquema desarrollado y una lista de esquemas que pueden ser básicos, desarrollados o incluso compuestos. Los esquemas contenidos en la lista de esquemas, pueden contener a su vez a otros esquemas dentro de su atributo *IScheme*. Esto se hizo con la finalidad de contar con una representación más eficiente y compacta, de tal manera que formen parte del mismo árbol todos aquellos esquemas compuestos que tengan un tronco común (ver Figura 5.4.3.4).

5.5 El agente cuenta con mecanismos de adaptación

PiaDev cuenta con los mismos mecanismos de adaptación de *Jacques* (asimilación, acomodación y equilibrio cognitivo), sin embargo, éstos se re-implementaron para trabajar con la nueva organización de la memoria a corto y a largo plazo (ver Sección 6).

5.6 Interacción del agente con su mundo

PiaDev inicia su ejecución con los mismos esquemas iniciales que *Jacques* y realiza el siguiente *ciclo de percepción-acción* para interactuar con su mundo:

1. Creación del contexto actual a partir del sensado y percepción de su mundo.
2. *Dev E-R 2.0*:
 - a. Asimilación del contexto actual a su conocimiento existente, definido por sus esquemas almacenados en su memoria a largo plazo.
 - b. Si es necesario, realizará alguna acomodación de su conocimiento almacenado en su memoria a largo plazo.
 - c. Evaluación del equilibrio cognitivo.
3. Realización de las acciones del esquema elegido en el paso 2(a).
4. Regresa al paso 1.

```

{
  "id": "1",
  "equilibrated": 1,
  "context": [ ["V", 1, , , , 6] ],
  "lAction": [ "headRight" ],
  "expected": [ ["V", 2, , , , ] ],
  "lScheme": [
    {
      "id": "2",
      "equilibrated": 2,
      "context": [ ["V", -1, , , , 6] ],
      "lAction": [ "handLeft" ],
      "expected": [ ["V", 1, , , , ] ],
    }
  ]
}

```

El esquema 1 centra en el campo de visión (área 5) a un objeto visto en el área 6 al mover la mano a la derecha; El esquema 2 recupera a un objeto perdido en el área 6 al mover la mano a la izquierda.

```

{
  "id": "3",
  "equilibrated": 1,
  "context": [ ["V", 1, , , , 6] ],
  "lAction": [ "headRight" ],
  "expected": [ ["V", 2, , , , ] ],
  "lScheme": [
    {
      "id": "4",
      "equilibrated": 2,
      "context": [ ["V", -1, , , , 6] ],
      "lAction": [ "headRight" ],
      "expected": [ ["V", 1, , , , ] ],
    }
  ]
}

```

El esquema 3 centra en el campo de visión (área 5) a un objeto visto en el área 6 al mover la cabeza a la derecha; El esquema 4 recupera a un objeto perdido en el área 6 al mover la cabeza a la derecha.

```

{
  "id": "5",
  "equilibrated": 1,
  "context": [ ["V", 1, , , , 6] ],
  "lAction": [ "headRight" ],
  "expected": [ ["V", 2, , , , ] ],
  "lScheme": [
    {
      "id": "2",
      "equilibrated": 2,
      "context": [ ["V", -1, , , , 6] ],
      "lAction": [ "handLeft" ],
      "expected": [ ["V", 1, , , , ] ],
    },
    {
      "id": "4",
      "equilibrated": 2,
      "context": [ ["V", -1, , , , 6] ],
      "lAction": [ "headRight" ],
      "expected": [ ["V", 1, , , , ] ],
    }
  ]
}

```

Dado que el esquema 1 y 3 tienen el mismo contexto, acciones y expectativas, podemos unirlos en un solo esquema 5 y unir el contenido de la lista lScheme de ambos esquemas en una sola lista.

Figura 5.4.3.4 Ilustra la unión de dos esquemas de árbol en uno solo.

6 Dev E-R 2.0

El nuevo modelo *Dev-ER 2.0*, es una adaptación del modelo *Dev E-R* que está basado en la teoría de Piaget del desarrollo sensorio motor. Este nuevo modelo, permite la creación de esquemas compuestos en forma de árbol, de modo que en su aprendizaje, selección y realización de manera secuencial, permite relacionar esquemas de visión y tacto. Recordemos que el diseño de este tipo de esquemas no es trivial, debido a que según la teoría de Piaget, los niños que se encuentran en el desarrollo del cuarto subestadio, no han desarrollado la permanencia de los objetos. Es decir, el agente no puede recordar cosas que no percibe, pero sí, adquirir la habilidad para realizar una serie de acciones que permitan obtener una gratificación. Un ejemplo claro de este tipo de habilidad es cuando un niño ve una pelota con la que tiene una relación emocional y el niño sabe hacia dónde mover la mano con la intención de tomarla.

6.1 Funcionamiento general

Los mecanismos principales de la nueva versión del modelo *Dev E-R*, son adaptaciones de su predecesor, que permiten operar con esquemas compuestos en forma de árbol. Adicionalmente, se añadieron y afinaron mecanismos que permiten acelerar el aprendizaje de manera concurrente. Esto fue necesario ya que toma mucho más tiempo adquirir la experiencia suficiente para cada uno de los esquemas que conforman a un árbol en un esquema compuesto, ésto debido a la explosión combinatoria que ocurre por la cantidad de acciones, contextos y expectativas que se pueden tener entre los procesos de generalización y diferenciación.

$$N = N_{Used} * A^{P-1}$$

N	Mínimo uso del esquema compuesto para diferenciar y generalizar a todos sus esquemas al menos una vez.
A	Número de acciones del agente.
P	Profundidad del árbol de un esquema compuesto.
NUsed	Experiencia mínima necesaria para realizar generalización o diferenciación.

Figura 6.1.1 Relación exponencial entre la profundidad y la complejidad de los esquemas compuestos.

Como podemos apreciar en la Figura 6.1.1, existe una relación exponencial entre la *profundidad-complejidad* de los esquemas compuestos, y la cantidad de experiencia mínima para someter a todos sus esquemas a los procesos de generalización y diferenciación.

Es por esto, que se requirió realizar un gran trabajo en optimizar a todos los procesos del nuevo modelo *Dev E-R*, de manera que pueda maximizar la información proveniente de sus experiencias en sus interacciones con el mundo.

6.2 Simulación del proceso de acomodación

El nuevo proceso de acomodación se fundamenta de igual manera en los procesos de generalización y diferenciación de la versión anterior de *Dev E-R*, pero añade otros componentes necesarios para el manejo eficiente de memoria a corto y a largo plazo, los cuales se describen en las siguientes secciones.

Existen dos situaciones que provocan que el agente entre al proceso de acomodación: 1) cuando se incrementa su respuesta afectiva de agrado y éste no estaba registrado en sus expectativas (es decir, cuando se dispara un estado emocional de sorpresa), y 2) cuando se genera una motivación intrínseca de curiosidad cognitiva debido a sus expectativas no se cumplieron.

En el primer caso, el proceso de acomodación consiste en la creación de un nuevo esquema que representa la manera en la que logró recuperar la respuesta afectiva de agrado que había perdido. En el segundo caso, se deben modificar los algún esquema existente debido a que el conocimiento del mundo que está representando, se encuentra en conflicto con la realidad.

6.2.1 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 actualizará 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 (ver Sección 5.1.1). 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 (ver Sección 6.4). También se actualizaron los nombres de *expectationsFulfilled* y *expectationsNotFulfilled* por *success* y *failure* respectivamente.

6.2.2 Generalización

El proceso de primeras generalizaciones cambió, pues ahora se añaden nuevos esquemas a partir del contenido de una memoria a corto plazo en un proceso de generalización como se muestra en la Figura 6.2.1.1 y en la Figura 6.2.1.2. En la versión original de *Dev E-R*, el

agente agrega nuevos esquemas al encontrarse sorprendido, y la profundidad del árbol del esquema a añadir dependerá, de si hay un incremento de placer o una recuperación en cada uno de los esquemas. En el ejemplo de la Figura 6.2.1.1 y la Figura 6.2.1.2, se añaden ambos esquemas, pues el esquema "2" va de una respuesta emocional de -1 a +1 y el esquema "1" va de una respuesta emocional de +1 a +2.

```

[["V",1,"c3","s0.07","static",4]]-[handLeft]->["V",2,"c3","s0.07","static",5]
[["V",-1,"c3","s0.07","moving",4]]-[handLeft]->["V",1,"c3","s0.07","static",4]

```

Figura 6.2.1.1 Ejemplo del contenido en la memoria a corto plazo. En el primer tiempo el agente percibió a un objeto de tamaño s0.07 que se ha perdido (-1) moviéndose por el área 4 y que luego de mover su mano a la izquierda, se ha recuperado en la periferia (1) al mismo objeto; En el segundo tiempo el agente percibió al mismo objeto y luego de volver a mover su mano a la izquierda, el objeto se encuentra ahora en el centro de su campo de visión (2) y que corresponde al área 5.

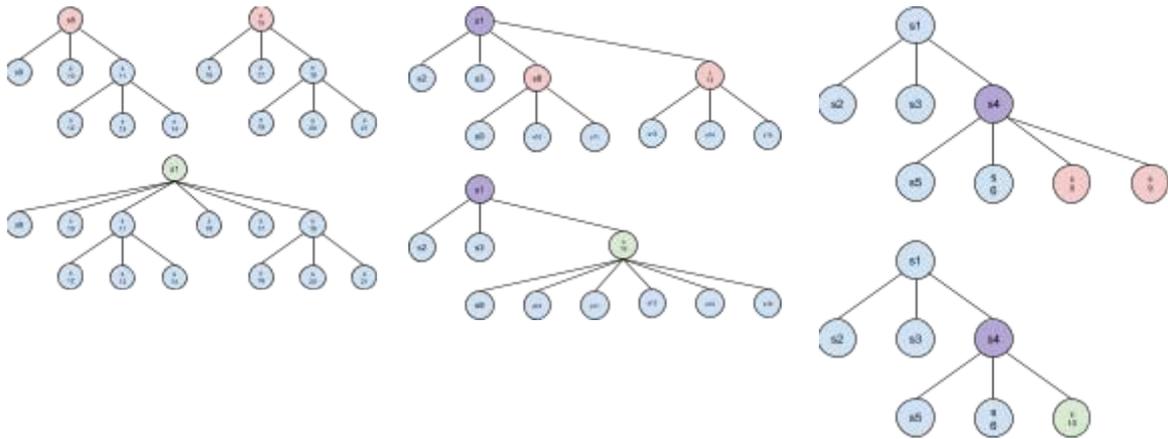
```

{
  "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 6.2.1.2 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. Esto no siempre es cierto pero el agente a través de sus procesos de acomodación, descubrirá los casos en donde esto sí ocurre.

También se añadió la restricción de sólo generalizar entre esquemas que sean la raíz de un esquema de árbol (incluye a esquemas desarrollados sin descendientes) o sólo entre los esquemas que tengan al mismo ancestro en común (ver Figura 6.1.1.3)



Generalización de esquemas que son raíz de un árbol.

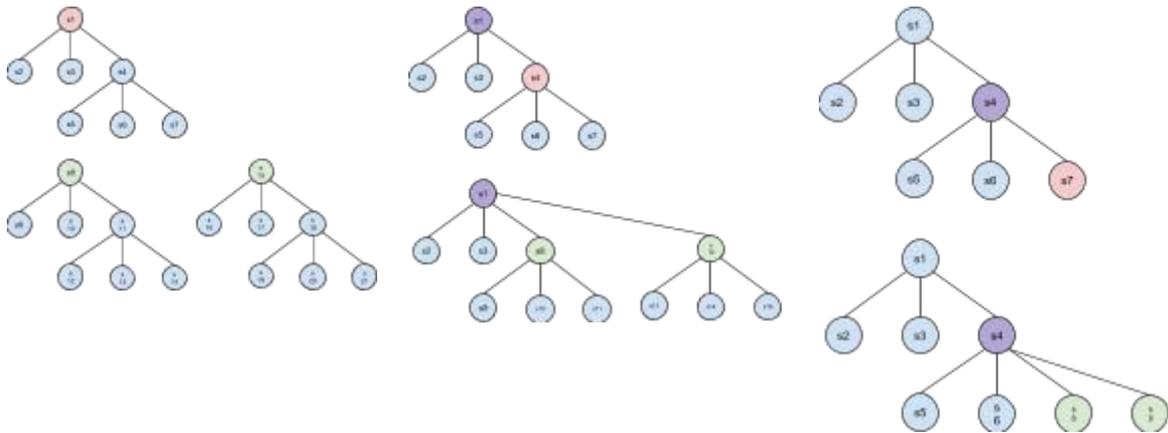
Generalización de esquemas que no son hojas ni raíz de un árbol.

Generalización de esquemas que son hojas de un árbol.

Figura 6.1.1.3 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.

6.2.3 Diferenciación

Debido a que ahora los esquemas pueden ser parte de un esquema de árbol, se modificó al proceso de diferenciación, de modo que todos los esquemas que resulten del proceso de la diferenciación de un esquema, tengan al mismo ancestro. Con excepción de los esquemas que son raíz de un árbol, ya que no tienen ancestro.



Diferenciación de esquema que es raíz de un árbol.

Diferenciación de un esquema que no es hoja ni raíz de un árbol.

Diferenciación de un esquema que es hoja de un árbol.

Figura 6.2.3.1 Cuando un esquema necesita ser diferenciado (en rojo), se crean los esquemas diferenciados (en verde) conservando su posición con respecto al esquema ancestro dentro del árbol (en morado). Los esquemas diferenciados son copias del esquema a diferenciar, pero cada copia tiene una diferenciación distinta del contexto del esquema a diferenciar.

6.2.4 Esquemas acumuladores

Originalmente, el proceso de diferenciación al identificar un esquema cuyo porcentaje de éxito es menor a la variable *success*, diferenciará al esquema en varios esquemas más específicos y eliminando al esquema original. En esta nueva versión, los esquemas no se eliminan, sólo se establece la variable *equilibrated* a -1 para que el proceso de *engagement* ya no los tome en cuenta, y su contexto se generaliza totalmente. Esto se hizo con la finalidad de conservar la experiencia que no logra ser capturada por las diferenciaciones del esquema original, también para evitar crear esquemas que ya han sido eliminados en caso de un éxito poco frecuente y para que el proceso de diferenciaciones identifique esquemas a diferenciar al alcanzar una cantidad *used* de experiencias con un *success* de éxito dentro de este esquema acumulador.

6.3 Simulación del proceso de asimilación

El proceso de asimilación se basa igualmente en la dinámica de *engagement-reflection*, que en el *Dev E-R* original, salvo unos pequeños ajustes que se describen a continuación:

1. **(1)** Decide aleatoriamente si entrará en modo de *engagement* para realizar correspondencias parciales.
2. De lo contrario buscará esquemas **(2)** con correspondencia completa.
3. Si se cumple el paso 1 o si no se encuentra algún esquema en el paso 2, entonces disminuye su porcentaje de correspondencia y vuelve a realizar la búsqueda **(2, 3)**. Las correspondencias parciales pueden darse de dos maneras. Primero, si el contexto-actual está compuesto de una sólo respuesta afectiva entonces se permite que alguno de los elementos de ésta difiera de alguno de los elementos 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, o en la textura o posición de la mano). Segundo, si el contexto-actual está compuesto de más de una respuesta afectiva entonces se permite que cada una de ellas se haga corresponder con un esquema diferente, o incluso que una de ellas se quede sin correspondencia **(4)**. Es importante enfatizar que las correspondencias parciales solo se realizan con los esquemas básicos y con los esquemas desarrollados estabilizados. Primero intenta corresponder parcialmente el contexto-actual con los esquemas que se estabilizaron durante la primera vez que el agente entró en equilibrio cognitivo. Si esto no fue posible, lo intenta con los esquemas que se estabilizaron en la segunda vez que el agente entró en equilibrio cognitivo. Y así, sucesivamente. Si al final de este proceso no logra realizar ninguna correspondencia parcial, entonces lo intenta con los básicos.
4. Si *Engagement* no pudo encontrar ninguna correspondencia, entonces pasa a modo de *Reflection*, en donde elige realizar una acción física aleatoria **(5)**.

5. Si encontró uno o varios esquemas le asigna una mayor probabilidad de ser elegido a aquellos que tengan el mayor porcentaje de expectativas cumplidas y mayor placer esperado **(6)**.
6. Se ejecuta la acción asociada al esquema seleccionado. El agente sensa nuevamente su mundo, actualiza su contexto-actual, y el ciclo se repite.

Cambios realizados en la nueva versión de *Dev E-R*:

- (1)** Si en el ciclo anterior engagement seleccionó un esquema que es un elemento hoja de un esquema de árbol y se cumplieron sus expectativas, entonces se elegirá como siguiente esquema al ancestro del esquema hoja. En caso contrario se elegirá un esquema siguiendo el proceso original.
- (2)** La lista de los esquemas elegibles se compone de esquemas básicos, esquemas compuestos y las hojas de los esquemas compuestos en forma de árbol.
- (3)** Si se hace correspondencia parcial con un esquema compuesto, entonces éste esquema se copiará y se tomará como un esquema simple sin experiencia.
- (4)** 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%.
- (5)** Se añadieron al conjunto de acciones aleatorias "*showInterestIn V*" y "*showInterestIn T*" para acelerar el aprendizaje de esquemas que utilicen a estas dos acciones. Como lo es el caso de los esquemas tacto-visuales.
- (6)** Sólo se toma en cuenta el placer esperado del esquema raíz. De este modo el agente intentará realizar 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.

7 Experimentos y resultados: El agente y una pelota

Para probar el modelo, se diseñó un mundo virtual con el cual el agente pudiera interactuar. Dicho ambiente consistió de una habitación en la que se encontraba una pelota estática al alcance de su mano (Ver Figuras 7.1 y 7.2).

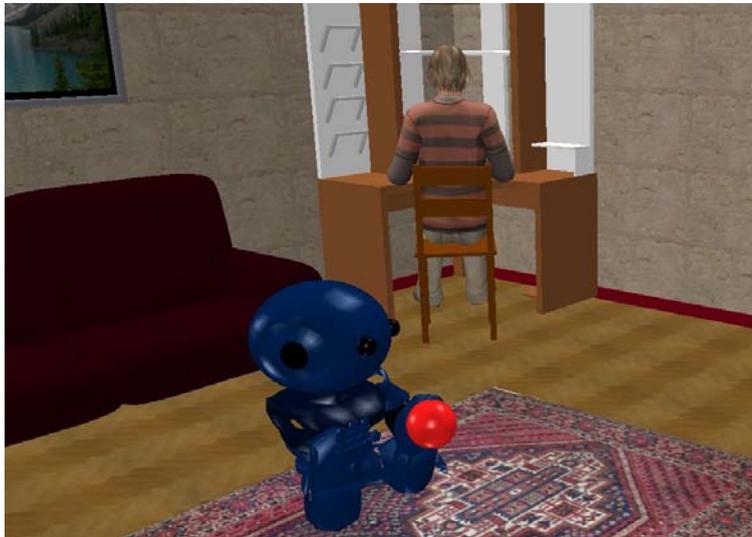


Figura 7.1 Vista general del experimento.
El agente PiaDev en una habitación interactuando con una pelota.

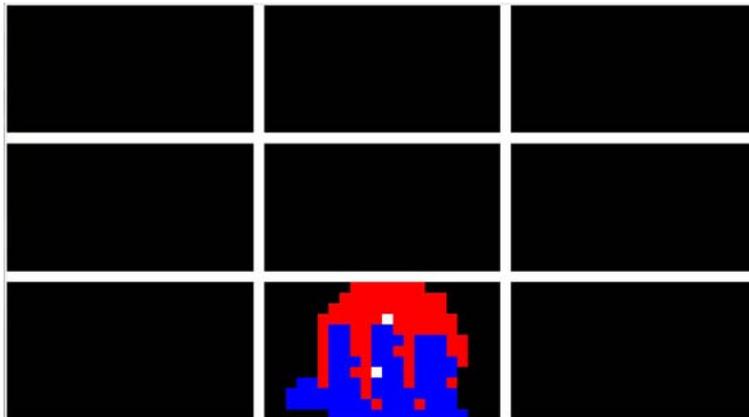


Figura 7.2 Vista perceptual del agente.
El agente percibe su mano (en azul) y una pelota (en rojo).

7.1 Conocimiento y configuraciones iniciales

El agente se inició con la capacidad de poder ver y tocar su mundo, de mover su cabeza y su mano, así como con la habilidad para reconocer 3 colores, 3 texturas, 19 tamaños y utilizar 7 esquemas básicos.

Parámetros

Para el experimento el agente se inicializó con los siguientes parámetros, que le permiten ver y palpar su mundo, así como generar esquemas de árbol con una profundidad máxima de 3 (Ver Tabla 7.1.1).

Nombre	Descripción	Valor
equilibrium/actual	La cuenta de equilibrios cognitivos alcanzados al iniciar el agente.	0
equilibrium/stabilization	El número de ciclos en que el agente no ha sufrido ningún proceso de acomodación y considerar que ha alcanzado un equilibrio cognitivo.	5000
attention/visual	Determina si el agente será capaz de generar contextos visuales.	true
attention/tactile	Determina si el agente será capaz de generar contextos táctiles.	true
attention/visualMinimumSize	Tamaño mínimo de un objeto visto para ser considerado en los contextos visuales.	0.01
attention/bored	El número de veces que el agente atenderá a algún contexto visual o táctil antes de generar una respuesta emocional de aburrimiento.	5
schemes/used	El número mínimo de experiencias que deberá tener un esquema antes de poder sufrir un proceso de acomodación.	10
schemes/success	El porcentaje de éxito mínimo que deberá tener un esquema para no sufrir un proceso de acomodación.	90%
schemes/deep	La profundidad máxima de los esquemas de árbol que se podrán generar.	3
schemes/partialMatching/	La probabilidad de generar un match parcial durante el proceso	10%

probability	de selección de esquema en engagement.	
schemes/ partialMatching/ minimum	El porcentaje mínimo que necesitará un esquema para ser considerado en un match parcial.	20%

Tabla 7.1.1 Parámetros iniciales

Movimientos

El agente podía mover su mano y su cabeza, así como abrir y cerrar su mano. Estos movimientos están limitados a poderse realizar un máximo de dos veces con respecto a su posición inicial (ver Tabla 7.1.2).

Movimientos	Pasos	Movimiento en cada paso
headUp headDown (headLeftUp) (headLeftDown)	2	15 centímetros
headLeft headRight (headLeftUp) (headLeftDown)	2	0.475 radianes
handRight handLeft	2	0.475 radianes
handUp handDown	2	13 centímetros
handBackwards handForward	0	3 centímetros
handClose handOpen	1	15%

Tabla 7.1.2 Acciones físicas disponibles para el experimento

Colores

El agente inició sabiendo reconocer objetos de color azul, verde y rojo. De donde el color azul *c1* corresponde al color de la mano del agente (ver Tabla 7.1.3).

Color	RGB 8 Bits	Nombre
Azul	0,0,255	c1
Verde	0,255,0	c2

Rojo	255,0,0	c3
------	---------	----

Tabla 7.1.3 Colores iniciales

Texturas

El agente inició sabiendo reconocer texturas de tipo *t1*, *t2* y *t3*. De donde la textura *t1* corresponde a la textura de la mano del agente (ver Tabla 7.1.4).

Textura	8 Bits	Nombre
Suave	0,0,255	t1
Rugoso	0,255,0	t2
Áspero	255,0,0	t3

Tabla 7.1.4 Texturas iniciales

Tamaños

El agente inició sabiendo reconocer 19 tamaños. De donde el tamaño de la mano depende de su cercanía a su cámara (ver Tabla 7.1.5).

Porcentaje de píxeles con respecto al total	Nombre
100%	s1
90%	s0.9
80%	s0.8
70%	s0.7
60%	s0.6
50%	s0.5
40%	s0.4
30%	s0.3
20%	s0.2
10%	s0.1
9%	s0.09
8%	s0.08
7%	s0.07
6%	s0.06
5%	s0.05
4%	s0.04

3%	s0.03
2%	s0.02
1%	s0.01

Tabla 7.1.5 Tamaños iniciales

Esquemas

El agente inició con esquemas básicos que le permiten tantear para hacer recuperación de objetos placenteros, cerrar la mano al sentir objetos con su mano, preservar estímulos visuales placenteros y cambiar de atención ante una estimulación máxima (ver Tabla 7.1.6).

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.

Tabla 7.1.6 Esquemas iniciales ("innatos")

7.2 Primer equilibrio cognitivo

El primer equilibrio cognitivo se logró a los 159,495 ciclos. Durante este tiempo el agente aprendió y estabilizó esquemas que le permiten recuperar objetos en su campo de visión con movimientos de la cabeza (ver Tabla 7.2.1). Aprendió y estabilizó esquemas que le permiten recuperar su mano dentro del campo de visión con movimientos de la mano (ver Tabla 7.2.2). Aprendió y estabilizó esquemas que le permiten recuperar la percepción visual de un objeto que el agente está palpando (ver Tabla 7.2.3). Y aprendió y estabilizó esquemas que le permiten tomar objetos que está viendo y palpando (ver Tabla 7.2.4).

Esquema	Descripción	Veces Utilizado	Porcentaje de éxito
<pre>[["V",-1,,,,1]] -[headLeftUp]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de un objeto visto por última vez en el área 1, con un movimiento de cabeza hacia la izquierda y arriba.	1328	100%
<pre>[["V",-1,,,,2]] -[headUp]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de un objeto visto por última vez en el área 2, con un movimiento de cabeza hacia arriba.	793	100%
<pre>[["V",-1,,,,3]] -[headRightUp]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de objeto visto por última vez en el área 3, con un movimiento de cabeza hacia la derecha y arriba.	957	100%
<pre>[["V",-1,,,,4]] -[headLeft]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de objeto visto por última vez en el área 4, con un movimiento de cabeza hacia la izquierda.	777	100%
<pre>[["V",-1,,,,6]] -[headRight]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de objeto visto por última vez en el área 6, con un movimiento de cabeza hacia la derecha.	897	97%
<pre>[["V",-1,,,,7]] -[headLeftDown]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de objeto visto por última vez en el área 7, con un movimiento de cabeza hacia la izquierda y arriba.	1375	99%
<pre>[["V",-1,,,,8]] -[headDown]-> [["V",1,,,,]]</pre>	Recuperación de objeto visto por última vez en el área 8, con un movimiento de cabeza hacia abajo.	811	100%
<pre>[["V",-1,,,,9]]</pre>	Recuperación de objeto visto por	934	99%

-[headRightDown]->
 [["V", 1, , , ,]]
 última vez en el área 9, con un movimiento de cabeza hacia la derecha y abajo.

Tabla 7.2.1 Esquemas desarrollados de recuperación de objetos con movimientos de la cabeza.

Esquema	Descripción	Veces Utilizado	Porcentaje de éxito
[["V", -1, "c1", , , , 8]] -[handUp]-> [["V", 1, , , ,]]	Recuperación de mano vista por última vez en el área 8, con un movimiento de mano hacia arriba.	827	95%
[["V", -1, "c1", , , , 2]] -[handDown]-> [["V", 1, , , ,]]	Recuperación de mano vista por última vez en el área 2, con un movimiento de mano hacia abajo.	3486	96%
[["V", -1, "c1", , , , 4]] -[handRight]-> [["V", 1, , , ,]]	Recuperación de mano vista por última vez en el área 4, con un movimiento de mano hacia la derecha.	1301	96%
[["V", -1, "c1", , , , 6]] -[handLeft]-> [["V", 1, , , ,]]	Recuperación de mano vista por última vez en el área 6, con un movimiento de mano hacia la izquierda.	1151	93%

Tabla 7.2.2 Esquemas desarrollados de recuperación de la mano con movimientos de la mano.

Esquema	Descripción	Veces Utilizado	Porcentaje de éxito
[["T", 1, ,], ["V", -1, , , , 9]] -[showInterestIn T, headRightDown]-> [["V", 1, , , ,], ["T", 1, ,]]	Recuperación de un objeto visual que fue visto por última vez en el área 9, al mismo tiempo que el agente está palpando un objeto.	46	100%
[["T", 1, ,], ["V", -1, , , , 8]] -[showInterestIn T, headRightDown]-> [["V", 1, , , ,], ["T", 1, ,]]	Recuperación de un objeto visual que fue visto por última vez en el área 8, al mismo tiempo que el agente está palpando un objeto.	16	93%

Tabla 7.2.3 Esquemas desarrollados de recuperación visual de un objeto que el agente está palpando.

Esquema	Descripción	Veces Utilizado	Porcentaje de éxito
[["V", 2, , , ,], ["T", 1, ,]] -[changeAttention V, handClose]-> [["V", 2, , , ,], ["T", 2, ,]]	Hacer un cambio de atención y cerrar la mano cuando se está palpando un objeto táctil y se está viendo un objeto en el centro del campo de visión.	35	97%

<pre> [["V",2,,], ["T",1,,]] -[showInterestIn V, handClose]-> [["V",2,,], ["T",2,,]] </pre>	<p>Agarrar el objeto que está palpando, mientras ve un objeto en el centro de su campo de visión (para este experimento significa agarrar la pelota que está viendo en el centro de su campo de visión). En otras palabras, poner atención al contexto visual y cerrar la mano cuando se está palpando un objeto táctil y se está viendo un objeto en el centro del campo de visión.</p>	27	100%
<pre> [["V",1,,], ["T",1,,]] -[showInterestIn V, handClose]-> [["V",1,,], ["T",2,,]] </pre>	<p>Poner atención al contexto visual y cerrar la mano cuando se está palpando un objeto táctil y se está viendo un objeto en la periferia del campo de visión.</p>	500	100%

Tabla 7.2.4 Esquemas de prensión de objetos.

7.3 Segundo equilibrio cognitivo

El segundo equilibrio cognitivo se logró a los 194,327 ciclos. Durante este tiempo el agente aprendió y estabilizó esquemas que le permiten centrar en su campo de visión, mediante movimientos de cabeza, a los objetos que ve, dando lugar a la adquisición de la habilidad de seguir visualmente a los objetos de su interés (ver Tabla 7.3.1). También aprendió a centrar su mano en su campo de visión, con movimientos de la mano (ver Tabla 7.3.2). Con estos esquemas y los estabilizados en el equilibrio cognitivo anterior, el agente tiende a centrar tanto la pelota como a su mano, y al estar en esta situación se activa algún esquema de tomar la pelota.

Esquema	Descripción	Veces Utilizado	Porcentaje de éxito
<pre> [["V",1,,1]] -[headLeftUp]-> [["V",2,,]] </pre>	<p>Centrado de objeto visto en el área 1, con un movimiento de cabeza hacia la izquierda y arriba.</p>	66	100
<pre> [["V",1,,2]] -[headUp]-> [["V",2,,]] </pre>	<p>Centrado de objeto visto en el área 2, con un movimiento de cabeza hacia arriba.</p>	35	100
<pre> [["V",1,,3]] -[headRightUp]-> [["V",2,,]] </pre>	<p>Centrado de objeto visto en el área 3, con un movimiento de cabeza hacia la derecha y arriba.</p>	83	100
<pre> [["V",1,,4]] </pre>	<p>Centrado de objeto visto en el</p>	48	97

-[headLeft]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,,,,6]]	área 4, con un movimiento de cabeza hacia la izquierda y arriba.		
-[headRight]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,,,,7]]	Centrado de objeto visto en el área 6, con un movimiento de cabeza hacia la derecha.	18	100
-[headLeftDown]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,,,,8]]	Centrado de objeto visto en el área 7, con un movimiento de cabeza hacia la izquierda y arriba.	37	100
-[headDown]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,,,,9]]	Centrado de objeto visto en el área 8, con un movimiento de cabeza hacia abajo.	54	98
-[headRightDown]-> [["V",2,,,,]]	Centrado de objeto visto en el área 9, con un movimiento de cabeza hacia la derecha y abajo.	66	100

Tabla 7.3.1 Esquemas de centrado de objetos con movimientos de la cabeza.

Esquema	Descripción	Veces Utilizado	Porcentaje de éxito
[["V",1,"c1",,,4]] -[handLeft]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,"c1",,,6]]	Centrado de objeto visto en el área 4, con un movimiento de mano hacia la izquierda.	66	100
-[handRight]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,"c1",,,8]]	Centrado de objeto visto en el área 6, con un movimiento de mano hacia la derecha.	35	100
-[handUp]-> [["V",2,,,,]] [["V",1,"c1",,,2]]	Centrado de objeto visto en el área 8, con un movimiento de mano hacia arriba.	83	100
-[handDown]-> [["V",2,,,,]]	Centrado de objeto visto en el área 2, con un movimiento de mano hacia abajo.	48	97

Tabla 7.3.2 Esquemas de centrado de la mano con movimientos de la mano.

7.4 Tercer equilibrio cognitivo

El tercer equilibrio cognitivo se logró a los 194, 327 ciclos. Durante estos ciclos el agente aprendió y estabilizó esquemas de longitud (profundidad) 2 y 3 (se leen de las hojas a las raíces). Estas nuevas estructuras de conocimiento le permitieron centrar en su campo de visión a los objetos que ve mediante movimientos de cabeza (ver Tabla 7.4.1), a centrar su mano con movimientos de la mano (ver Tabla 7.4.2), a centrar su mano con movimientos de cabeza y mano (ver Tabla 7.4.3), esquemas en forma de árbol para recuperación y centrado (ver Tabla 7.4.4) y un esquema con el que recupera visualmente un objeto que palpa, hasta agarrarlo y llevarlo al centro de su campo de visión (ver Tabla 7.4.5).

Esquemas

```
[["V", 1, , , , 9]]-[headRightDown]->[["V", 2, , , , ]]  
[["V", -1, , , , 9]]-[headRightDown]->[["V", 1, , , , ]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 9, moviendo la cabeza hacia la derecha y abajo dos veces.

```
[["V", 1, , , , 4]]-[headLeft]->[["V", 2, , , , ]]  
[["V", -1, , , , 4]]-[headLeft]->[["V", 1, , , , ]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 4. Moviendo la cabeza hacia la izquierda y abajo dos veces.

Tabla 7.4.1 Esquemas de longitud 2 típicos de recuperación y centrado con movimientos de la cabeza, desarrollados durante el tercer equilibrio cognitivo.

Esquemas

```
[["V", 1, , , , 8]]-[handUp]->[["V", 2, , , , ]]  
[["V", -1, , , , 8]]-[handUp]->[["V", 1, , , , ]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 8. Moviendo la mano hacia arriba dos veces.

```
[["V", 1, , , , 4]]-[handLeft]->[["V", 2, , , , ]]  
[["V", -1, , , , 4]]-[handLeft]->[["V", 1, , , , ]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 4. Moviendo la mano hacia la izquierda dos veces.

Tabla 7.4.2 Esquemas de longitud 2 típicos de recuperación y centrado con movimientos de la mano, desarrollados durante el tercer equilibrio cognitivo.

Esquemas

```
[["V",1,"c1",,,,-]]-[handDown]->[["V",2,,,,,]]  
[["V",-1,,,,,2]]-[headUp]->[["V",1,,,,,]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 2. Moviendo la cabeza hacia arriba y la mano hacia abajo.

```
[["V",1,,,,,]]-[headRight]->[["V",2,,,,,]]  
[["V",-1,"c1",,,,-4]]-[handLeft]->[["V",1,,,,,]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 4. Moviendo la mano hacia la izquierda y la cabeza hacia la derecha.

Tabla 7.4.3 Esquemas de longitud 2 típicos de recuperación y centrado con movimientos de la cabeza y mano, desarrollados durante el tercer equilibrio cognitivo.

Esquema

```
[["V",1,,,,,6]]-[headRight]->[["V",2,,,,,]]  
[["V",-1,,,,,6]]-[headRight]->[["V",1,,,,,]]  
[["V",-1,"c1",,,,-6]]-[handLeft]->[["V",1,,,,,]]
```

Esquema de recuperación visual y centrado de un objeto perdido en el área 6.

Primer camino: cuándo se ha perdido la mano *c1* por el área 6, mover la mano a la izquierda y luego la cabeza a la derecha; Segundo camino: si se ha perdido un objeto por el área 6 entonces mover la cabeza dos veces a la derecha.

Tabla 7.4.4 Esquema típico en forma de árbol, de recuperación y centrado con movimientos de la cabeza y mano, desarrollados durante el tercer equilibrio cognitivo.

Esquema de longitud 3 de recuperación visual, prensado y centrado.

```
[["T",2,,],[["V",1,,,,,9]]-[showInterestIn T,headRightDown]->[["V",2,,,,,],[["T",2,,]]  
[["V",1,,,,,],[["T",1,,]]-[showInterestIn V,handClose]->[["V",1,,,,,],[["T",2,,]]  
[["T",1,,],[["V",-1,,,,,9]]-[showInterestIn T,headRightDown]->[["V",1,,,,,],[["T",1,,]]
```

Esquema de recuperación visual, prensado y centrado de un objeto perdido visualmente en el área 9.

Sigue los siguientes pasos: Si palpas un objeto y ha perdido un objeto visual por el área 9, entonces interésate en el objeto táctil y mueve tu cabeza a la derecha y abajo; Si recuperaste el objeto visual y mantienes el táctil, ahora interésate en el objeto visual y cierra la mano; Si tienes un objeto agarrado y un objeto visual en el área 9, entonces mueve tu cabeza hacia la derecha y abajo. El esquema termina con la expectativa de tener un objeto agarrado y uno visual (muy posiblemente el mismo objeto) en el centro de su campo de visión.

Tabla 7.4.5 Esquema de longitud 3 típico para la recuperación y centrado con movimientos de la cabeza y mano, desarrollados durante el tercer equilibrio cognitivo.

7.5 Surgimiento del esquema de recuperación visual, prensado y centrado

A continuación se describe paso a paso, cómo se crea un esquema de longitud 3, que recupera visualmente a un objeto que se está palpando, para luego tomarlo y llevarlo al centro del campo visual. Este esquema fue creado durante el tercer equilibrio cognitivo del experimento efectuado en el apartado anterior. Recordemos cómo están numeradas las áreas visuales (ver Figura 7.5.1) y el estímulo que genera el ver un objeto en cada una de las áreas (ver Figura 7.5.2). También recordemos que el color de la mano es *c1* y el color de la pelota es *c3*. Así mismo, palpar un objeto genera una respuesta táctil de 1 y tener un objeto con la mano cerrada genera un estímulo táctil de 2.

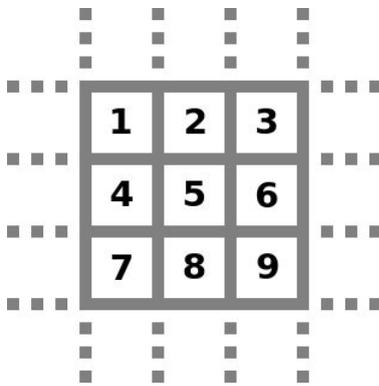


Figura 7.5.1 Numeración de las áreas visuales.

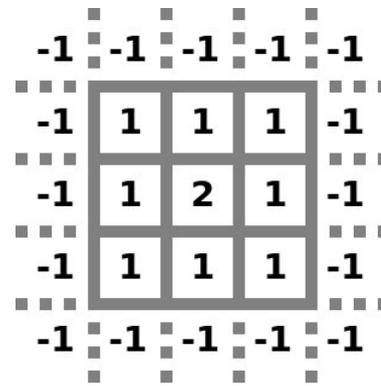


Figura 7.5.2 El área central genera un estímulo con valor de 2. Las áreas en la periferia generan un estímulo de 1. Cuando un objeto sale del área visual, genera un estímulo de -1.

Partiremos del punto en que el agente ya ha aprendido, equilibrado y estabilizado a los esquemas de la tabla 7.5.1.

Esquema	Descripción
<pre> [["T", 1, ,,], ["V", -1, ,, , 9] - ["showInterestIn T", "headRightDown"] -> [["V", 1, ,, ,], ["T", 1, ,,] </pre>	<p>Si palpas algo, y has perdido un contexto visual por el área 9, realiza el mostrar interés por el contexto táctil y mueve la cabeza hacia la derecha y abajo, con la expectativa de preservar el estímulo táctil y recuperar el estímulo visual.</p>
<pre> [["V", 1, ,, ,], ["T", 1, ,,] - ["showInterestIn V", "handClose"] -> [["V", 1, ,, ,], ["T", 2, ,,] </pre>	<p>Si palpas algo, y percibes un estímulo visual en la periferia, realiza el mostrar interés por el contexto visual y cierra la mano, con la expectativa de preservar el estímulo visual e incrementar el estímulo táctil al cerrar la mano.</p>
<pre> [["T", 2, ,,], ["V", 1, ,, , 9] - ["showInterestIn T", "headRightDown"] -> </pre>	<p>Si tienes algo en tu mano cerrada, y percibes visualmente algo en el área 9, muestra interés en el estímulo táctil y mueve la cabeza hacia la</p>

```
[["V",2,,,,], ["T",2,,]]
```

derecha y hacia abajo, con la expectativa de preservar el estímulo táctil y centrar el estímulo visual.

Tabla 7.5.1 esquemas aprendidos, acomodados y estabilizados.

Ahora se describe paso a paso la creación del esquema de longitud 3:

Paso 1

Contexto actual:

```
[["V",-1,"c3","s0.04","static",9], ["T",1,"t3","handOpen"]]
```

Esquema seleccionado por coincidencia total:

```
[["T",1,,], ["V",-1,,,,9]]  
-["showInterestIn T", "headRightDown"]->  
[["V",1,,,,], ["T",1,,]]
```

Paso 2

Contexto actual:

```
[["V",1,"c3","s0.04","static",9], ["T",1,"t3","handOpen"]]
```

Esquema seleccionado por coincidencia total:

```
[["V",1,,,,], ["T",1,,]]  
-["showInterestIn V", "handClose"]->  
[["V",1,,,,], ["T",2,,]]
```

Paso 3

Contexto actual:

```
[["V",1,"c3","s0.05","moving",9], ["T",2,"t3","handClosed"]]
```

Esquema seleccionado por coincidencia total:

```
[["T",2,,], ["V",1,,,,9]]  
-["showInterestIn T", "headRightDown"]->  
[["V",2,,,,], ["T",2,,]]
```

Se realiza un proceso de acomodación al haberse disparado una respuesta emocional de sorpresa al haber realizado con éxito los últimos 3 esquemas. Se crea un esquema de tamaño 3 que representa la secuencia de realización de los tres esquemas almacenados en la memoria a corto plazo y se almacena en la memoria a largo plazo.

```
[["T",2,,],["V",1,,,,9]]-[showInterestIn T,headRightDown]->[["V",2,,,,],["T",2,,]]  
[["V",1,,,,],["T",1,,]]-[showInterestIn V,handClose]->[["V",1,,,,],["T",2,,]]
```

```
[["T",1,,],["V",-1,,,9]]-[showInterestIn T,headRightDown]->[["V",1,,,],["T",1,,]]
```

Ahora este esquema se puede utilizar cuando pierda un objeto visual por el área 9 y que se conserve su percepción táctil.

8 Discusión y conclusiones

En este trabajo se propuso la segunda versión del modelo del desarrollo cognitivo Dev E-R, de modo que ahora puede aprender comportamientos característicos del tercer subestadio del periodo sensoriomotor, mediante un agente dentro de un entorno virtual, inspirado por las teorías del psicólogo Jean Piaget. En particular el agente logró aprender habilidades relacionadas con la coordinación visión-tacto, a través del desarrollo de esquemas en forma de árbol, que le permitieron desarrollar la capacidad de ver y palpar un objeto, para después tomarlo. Para lograrlo el agente no utilizó planeación, ya que de acuerdo a Piaget en esta etapa aún no se encuentra esta habilidad desarrollada, debido a que aún no cuenta con la capacidad de permanencia del objeto, de diferenciación entre fines y medios, ni de la utilización de símbolos. Esta forma de abordar la exploración del mundo (a través de la experimentación y el descubrimiento accidental), permite la creación de árboles que modelan las interacciones del agente con su mundo, a través de la utilización de un catálogo de acciones posibles y sin caer en el problema de la explosión combinatoria que sería el resultado de un aprendizaje a través de una exploración exhaustiva.

Es importante destacar que los experimentos aquí realizados, comenzaron únicamente con los esquemas innatos, los cuales se desarrollaron a esquemas de recuperación, y de estos se generaron esquemas de preservación, para culminar con la creación de esquemas en forma de árbol a partir de aquellos creados en etapas anteriores. Estos nuevos esquemas modelan habilidades de coordinación en interacciones entre el agente y un objeto externo, como lo es la pelota. Esta secuencia de creación de esquemas modela las etapas del desarrollo sensoriomotor descritas por Piaget, a través de un desarrollo constructivista del conocimiento. Es decir, modela las etapas comprendidas por el uso de esquemas reflejos, reacciones circulares primarias y secundarias, y la coordinación de esquemas secundarios.

Se plantearon dos hipótesis al inicio del presente trabajo; la primera consistía en la creencia de que el agente incrementaría sus habilidades aprendidas conforme su memoria aumentara, y la segunda acerca cómo éste incremento en la capacidad de su memoria, daría lugar al surgimiento de las primeras coordinaciones tacto-visuales. Ambas hipótesis fueron confirmadas. Sin embargo, para nuestra sorpresa, no fue necesario incrementar gradualmente la capacidad de la memoria a corto plazo, sino que el uso de ésta se dio de manera emergente. Es decir, como se puede observar en la descripción del experimento, se inició al agente con una memoria de longitud 3, la cual se mantuvo constante a lo largo de la ejecución. Sin embargo, los primeros esquemas que desarrolló fueron de longitud uno, después de la primera estabilización fueron de longitud 2, para que finalmente comenzaran a crearse estructuras de conocimiento de longitud 3, llevando al agente a una tercera estabilización con la que finalizaría su ejecución. Por otro lado, el agente aprendió a recuperar una pelota que había perdido, a agarrarla y a llevarla a su centro visual. Esta habilidad no era posible mediante el uso de los esquemas desarrollados y fue adquirida gracias al uso de los esquemas en forma de árbol (que permiten relacionar lo que el agente

ve con lo que toca) y a la memoria de corto plazo. Es interesante destacar que no se esperaba un esquema en donde se recupera la pelota visualmente con un movimiento de cabeza, se toma a la pelota cerrando la mano y luego se centra a la pelota con el mismo movimiento de cabeza. Lo intuitivo era agarrar la pelota y mover la mano para llevar la pelota al centro de atención visual.

Las principales contribuciones de este trabajo al modelo del desarrollo cognitivo *Dev E-R*:

- **La extensión de la memoria de corto plazo:** De sólo recordar el pasado inmediato anterior, ahora se cuenta con una memoria que permite recordar los últimos N ciclos de interacciones del agente con su mundo.
- **La extensión de los esquemas desarrollados a esquemas en forma de árbol:** Gracias a la extensión de la memoria de corto plazo, ahora es posible crear esquemas que se componen de una secuencia de esquemas y estas “ramas” a su vez pueden conformar a esquemas en forma de árbol, que permiten al agente adquirir y desarrollar habilidades que requieren de una serie de acciones secuenciales, como lo son las habilidades tacto-visuales.
- **Integración de la acción *changeAttention* al repertorio de acciones internas:** Este cambio favoreció a la diversidad de objetos atendidos por el agente, en particular al intercambiar la atención entre la mano del agente y la pelota.

Se probó que el modelo funciona cuando la visión y el tacto se activan desde el inicio.

En este trabajo, gracias a la integración de los esquemas en forma de árbol, se logró dotar al agente de la capacidad de adquirir y desarrollar habilidades características del cuarto subestadio, que se caracteriza por la coordinación y generalización de esquemas sensoriomotrices secundarios (es decir, que interactúan con objetos ajenos a su propio cuerpo), así como la coordinación de dos o más acciones para alcanzar un objetivo simple. Adicionalmente, este tipo de esquemas en forma de árbol, pueden servir de base para el desarrollo del quinto subestadio del desarrollo sensoriomotor, que se caracteriza por el uso de medios para alcanzar fines, es decir, alcanzar objetivos conocidos de manera intencional. Para lograrlo se requiere dotar al agente con la capacidad de:

- **Autogenerar metas:** Cuando el agente cause por accidente un cambio interesante en alguno de los objetos con los que interactúa, se autogenera la meta (fin) de encontrar la serie de esquemas utilizados (medios) para repetir dicho efecto en el objeto.
- **Diferenciar entre fines y medios:** En los esquemas en forma de árbol, podemos identificar a los fines como las expectativas ubicadas en el esquema la raíz del árbol y a los medios, como al conjunto de acciones que llevan de un contexto actual al contexto de la expectativa en la raíz.
- **Desarrollar estrategias:** Para el desarrollo de estrategias, no podemos utilizar un método de planeación deductiva “consciente”, porque es una característica del sexto subestadio. Este desarrollo de estrategias, puede llevarse a cabo a través del descubrimiento accidental mediante las interacciones del agente con su mundo, y formaría parte de las primeras estrategias del proceso de *reflexión* (el cual por el

momento sólo es capaz de resolver situaciones de *impasse* realizando acciones aleatorias)

8.1 Trabajo a futuro

Para trabajos posteriores, se proponen las siguientes características para complementar a las capacidades del modelo *Dev E-R 2.0*, así como a los ambientes de prueba:

- **Diferentes mundos virtuales:** En este trabajo se realizaron experimentos dentro de un sólo mundo virtual. Será conveniente, más adelante, exponer al agente a diferentes mundos y ambientes más complejos, con los cuales pueda interactuar.
- **Integración de una segunda cámara:** Una segunda cámara permitiría dar un sentido de profundidad en el momento de generar los contextos visuales.
- **Contextos que permitan la evaluación de éxitos parciales:** Actualmente en la ejecución de esquemas, sólo se valora si las expectativas del esquema se cumplieron en su totalidad o no. Por ejemplo, al intentar centrar la pelota en su campo de visión, podría realizarse un movimiento no exitoso del todo, pero que valore de alguna manera si este movimiento redujo la distancia de la pelota al centro de campo de visión y pueda tomarse como un éxito parcial. De este modo podrían aprovecharse mejor las experiencias del agente con su mundo a través de aproximaciones parciales que guíen su comportamiento hacia el aprendizaje.
- **Contextos que permitan a un conjunto de valores:** Actualmente los contextos pueden estar generalizados en sus campos y ser válidos para todos los valores en esos campos, o pueden contener valores específicos. Convendría poder tener un conjunto de valores para los cuales el esquema es válido. Por ejemplo, es distinto el comportamiento de un conjunto de pelotas, al de la mano. Pero debido a la excepción de la mano, entonces se deben construir un esquema distinto para modelar las interacciones con cada una de las pelotas. Convendría poder construir esquemas que en su contexto se pueda especificar al conjunto de colores de las pelotas o poder especificar al campo del color como general, pero con la excepción de la mano.

Referencias

- Aguilar, W. (2015). Dev E-R: Un modelo computacional del desarrollo cognitivo temprano implementado como un proceso creativo (tesis doctoral). Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, UNAM. México.
- Aguilar, W. and Rafael Pérez y Pérez (2015), Dev E-R: A computational model of early cognitive development as a creative process, *Cognitive Systems Research*, vol. 33, p.p 17-41.
- Beer, R., Chiel, H., Quinn, R., & Ritzmann, R. (1998). Biorobotics approaches to the study of motor systems. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 777–782.
- Brooks, R. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47, 139–160.
- Clark, A. (1997). *Being There: Putting Brain, Body and World Together Again*. Cambridge MA: MIT Press.
- Drescher, G. L. (1991). *Made-Up Minds, A Constructivist Approach to Artificial Intelligence*. MIT Press.
- Guerin, F. (2011a). Learning like a baby: a survey of artificial intelligence approaches. *The Knowledge Engineering Review*, 26, 209–236.
- Guerin, F. (2011b). Sensorimotor Schema(s). In *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, Norbert Seel (ed.). Springer Science+Business Media.
- Lungarella, M., Mettay, G., Pfeiferz, R., & Sandiniy, G. (2003). Developmental robotics: a survey. *Connection Science*, 15, 151–190.
- Ormrod, J. (2012). *Essentials of Educational Psychology: Big Ideas to Guide Effective Teaching*. Boston, MA: Pearson Education Inc. 53 Parisi, D., & Schlesinger, M. (2002). Artificial life and piaget. *Cognitive development*, 17, 1301–1321.
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. London: Routledge and Kegan Paul, 1936 (French version published in 1936, translation by Margaret Cook published 1952).
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. Cook, Margaret (Trans). New York, NY.: Basic books.

Piaget, J. (1971). *Psychology and epistemology: Towards a theory of knowledge*. Middlesex, UK: Penguin Books.

Piaget, J. (1981). *Intelligence and Affectivity: Their Relationship during Child Development* (Trans. and Ed. T.A Brown and C.E Kaegi). Oxford, England: Annual reviews.

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59, 433–460.

Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.