



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Centro de Investigación
Transdisciplinar en Psicología

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN TRANSDISCIPLINAR EN PSICOLOGÍA

Robótica Cognitiva y Emociones

T E S I S

Que para obtener el título de:
Maestro en Ciencias Cognitivas

PRESENTA:

Jorge Luis Hernández Ochoa

Director de tesis:
Dr. Bruno Lara Gúzman

Diciembre 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres María de Jesús Ochoa e Ignacio Hernández. A mi querida y amada Déborah, sin su paciencia y motivación en el día a día, este trabajo no hubiera podido ser consumado. A mi hermana Coco, a mi cuñado Javier y mis adoradas sobrinas Wendy y Erendira. Sus sonrisas y entusiasmo me dieron la energía para no sentir la carga de la distancia. A mis amigos de toda la vida que aguantaron plantones y ausencias en momentos importantes — no pongo nombres porque se sienten por el orden. A Marcela y Carlos, mis camaradas del Posgrado en Ciencias Cognitivas, por hacer de estos dos años, 24 meses de aquelarre epistémico. Al Laboratorio de Robótica Cognitiva, espacio en el que me brindaron un sinfín de saberes que fueron claves para terminar esta investigación. Al Dr. Bruno Lara Guzmán por compartir esos tantos desayunos en Lori y arrojar luz en mis momentos difíciles de tesista. A la Mtra. Alejandra Ciria por esas pláticas con Victoria y aconsejarme siempre en *pro* de construir algo mejor. Al Dr. Jorge Hermosillo, por sus puntuales críticas y observaciones. A Dylan Andrade y Javier Vargas por esas tantas pláticas de desahogo rumbo a la cafetería. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento que me permitió llegar a esta meta.

Contenido

| | |
|---|----|
| Capítulo uno | |
| Introducción..... | 3 |
| Capítulo dos | |
| Emociones y cognición..... | 7 |
| <i>Estructuras Emocionales</i> | 9 |
| <i>El Sistema Límbico</i> | 10 |
| Capítulo tres | |
| Robótica cognitiva y emociones..... | 15 |
| <i>Inteligencia Artificial y Robótica Cognitiva</i> | 15 |
| <i>Robótica Externa y Robótica Interna</i> | 19 |
| Capítulo cuatro | |
| Emociones artificiales..... | 21 |
| <i>Tener una emoción: ¿por qué los robots necesitan sistemas emocionales?</i> | 22 |
| <i>Robots con sistemas emocionales artificiales</i> | 26 |
| <i>Una Clasificación</i> | 36 |
| Capítulo cinco | |
| Conclusiones..... | 41 |
| Referencias..... | 43 |

Resumen

Las emociones son un componente esencial en los procesos cognitivos de los organismos biológicos. En este trabajo se intentará esclarecer la importancia de dotar a sistemas artificiales con mecanismos emocionales en aras de conseguir agentes autónomos capaces de interactuar en el mundo de una manera coherente. Además, con el propósito de ilustrar los diferentes componentes emotivos que han sido modelados por los robóticos cognitivos, se mostrarán algunos ejemplos y una clasificación.

Capítulo uno

Introducción

Las investigaciones en Ciencias Cognitivas han tenido como objeto de estudio dilucidar el fenómeno de lo mental a partir de la interacción de diferentes disciplinas, por ejemplo, la Filosofía, las Neurociencias o la Inteligencia Artificial. En la búsqueda de un punto de convergencia, los investigadores se han enfrentado a distintos problemas metodológicos y conceptuales. La razón de esta afirmación es, precisamente, que cada una de las diferentes áreas que están inmersas en el estudio de la cognición tiene un desarrollo independiente, y esto conlleva a un difícil acuerdo entre los especialistas (Clark, 1999). Sin embargo, el afán de consumir una investigación en la que estén involucradas distintas especialidades, es el núcleo de la labor del cognitólogo y este trabajo es un esfuerzo por conseguir ese objetivo.

La presente investigación está enmarcada en una de las principales áreas de estudio de la Inteligencia Artificial, a saber, la Robótica Cognitiva. Las investigaciones en Robótica Cognitiva han estado enfocadas en elucidar y esclarecer el funcionamiento de capacidades particulares de los organismos vivos, por ejemplo, la capacidad de sentir o atender a algún estímulo (Fleming, Peters, & Bodenheimer, 2006). En esta búsqueda los robóticos cognitivos han creado e implementado —en agentes artificiales¹— diferentes modelos para conseguir distintos objetivos, por ejemplo, mover un brazo o detectar y evadir obstáculos (Hillenbrand, Brunner, Borst, & Hirzinger, 2004; Chung, Hollinger, & Isler, 2011). Analizar los procesos cognitivos bajo los supuestos de la Robótica Cognitiva presenta un enfoque importante por dos principales razones. Por un lado, el antagonismo con la vieja Inteligencia Artificial, es decir, aquel programa de investigación que comenzó por estudiar los procesos cognitivos de alto nivel —como jugar ajedrez (Turing, Bates, Bowden, & Strachey, 1953). Por otro lado, el énfasis en estudiar la cognición a partir de actividades cognitivas de bajo nivel —por ejemplo, el desarrollo ontogenético de los esquemas sensoriomotrices— y su relación con la actividad corpórea y el ambiente (Asada, Hosoda, Kuniyoshi, Ishiguro, Inui, Yoshikawa & Yoshida, 2009; Pfeifer, & Scheier, 1999).

¹En esta investigación los conceptos *agentes artificiales* y *robots* serán utilizados como sinónimos. Lo mismo ocurrirá con *emoción* y *sistema emocional*.

Comprender la importancia de considerar la interacción entre los factores cuerpo y ambiente ha sido esencial en el desarrollo de agentes autónomos para conseguir un comportamiento adecuado con sus objetivos. Sin embargo, algunos autores señalan la importancia de estudiar no solamente la interacción externa entre los agentes y el mundo (Arbib & Fellous, 2004; Coutinho, Miranda & Cangelosi, 2005; Parisi, 2011, 2010, 2004; Ziemke, 2016, 2008). En otras palabras, estos autores enfatizan en la necesidad de incluir un análisis de los procesos internos por los cuales el agente artificial puede interactuar en el ambiente. La importancia de esto es, justamente, que estos procesos internos brindan información del estado del cuerpo y guían la acción. Por ejemplo, en los seres vivos estos procesos internos informan si el organismo requiere alimento por medio de sensaciones viscerales o bien prepara al organismo para huir de un peligro inminente. Para ciertos investigadores estos procesos internos son la base biológica de las *emociones* (Damasio, 2010, 2006, 2005, 1994; Ortony, Norman & Revelle, 2005; Parisi, 2011, 2010, 2004).

Estudiar las emociones y su relación con los procesos cognitivos ha sido un tema muy explorado durante las últimas décadas (Frazzeto, 2014; Damasio, 2010; Ramachandran, 1999). Los hallazgos apuntan a que las emociones son un elemento vital en los procesos cognitivos de los organismos, por ejemplo, en la toma de decisiones. Por lo anterior, con el propósito de realizar investigaciones más robustas, los robóticos cognitivos han buscado implementar sistemas emocionales en agentes artificiales.

El vínculo entre las emociones y la Robótica Cognitiva es un tema que no ha sido muy explorado en el campo de las Ciencias Cognitivas (Ziemke, 2016; Parisi, 2011). Sin embargo, es importante enfatizar en que la característica de las emociones que ha llamado la atención de los robóticos cognitivos es el rasgo funcional de éstas. En otras palabras, la pregunta de investigación que ha guiado estos trabajos ha sido, ¿para qué sirven las emociones? (Fellous, 2004). La importancia de esta investigación es, justamente, aportar una herramienta cualitativa en la que los cognitólogos —y otro público interesado en el tema— puedan dilucidar la importancia del modelado y la implementación de sistemas emocionales en agentes artificiales. Para consumir este propósito, en el capítulo dos se mostrará el nexo entre emociones y cognición en organismos naturales. Por una parte, se explicará concretamente, la propuesta de los diferentes niveles que subyacen a las emociones esbozada

por Antonio Damasio. Por otra parte, se expondrán las principales áreas cerebrales implicadas en el procesamiento emocional. En el capítulo tres se describirán los orígenes de la Inteligencia Artificial y la Robótica Cognitiva. Además, la división entre Robótica Externa y Robótica Interna. En el capítulo cuatro se explicará la diferencia entre expresar, reconocer y tener emociones en el contexto de la Robótica Cognitiva, se explicarán algunos ejemplos y se integrará una clasificación que ilustre los componentes emotivos que han sido estudiados por los especialistas de esta área. Finalmente, en el capítulo cinco se analizarán las implicaciones y los límites de este trabajo.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la importancia del estudio de sistemas emocionales artificiales en Robótica Cognitiva?

Objetivo

Esclarecer la relevancia del modelado y la implementación de sistemas emocionales artificiales.

Objetivos particulares

- Mostrar el vínculo entre emociones y cognición en organismos biológicos.
- Dilucidar qué componentes emocionales han sido modelados en Robótica Cognitiva.
- Clasificar los componentes emocionales que han sido examinados por los robóticos cognitivos.

Hipótesis

La integración de sistemas emocionales artificiales —en robots— incrementará la capacidad de éstos para interactuar de forma autónoma y coherente con el mundo.

Capítulo dos

Emociones y cognición

“La emoción es un programa de acciones y el resultado de las acciones es un cambio en el estado corporal”.

Antonio Damasio²

Analizar, estudiar y comprender la naturaleza, los mecanismos y la relación entre las emociones y la cognición es un tema que ha diversificado la opinión de muchos investigadores. En la búsqueda de responder, cabalmente, ¿qué es una emoción?, ¿cuáles son los mecanismos neuronales implicados en el proceso emocional?, ¿cuál es la relación entre estos mecanismos y los procesos cognitivos?, los estudiosos de las emociones han planteado diferentes propuestas (Ledoux, 1996; Calhoun & Solomon, 1996; Darwin, 1872; James, 1884). Sin embargo, a pesar de los diferentes esfuerzos, el debate sigue abierto y hasta la fecha no existe una respuesta certera para estas interrogantes.

Durante las últimas tres décadas, científicos como Antonio Damasio (2010, 2006, 2005, 1994) han argumentado que las emociones y los sentimientos son parte de la maquinaria neural para la regulación biológica. La base de esta maquinaria está compuesta, principalmente, por controles homeostáticos.³ En la figura 1 se puede observar la propuesta de este autor para esquematizar los distintos niveles de regulación homeostática.

El nivel más bajo del esquema *regulación metabólica* se refiere, exactamente, a mecanismos encargados de regular los estados internos del cuerpo p. ej. la regulación cardiovascular o la regulación digestiva. El siguiente nivel *respuestas inmunes* está enfocado a mecanismos de defensa ante ciertas amenazas como virus o bacterias que son nocivos para el organismo. *Comportamientos de dolor y placer* están relacionados con reacciones de permanencia o de retirada del organismo. Además, incluyen características notoriamente visibles: si observamos a un animal cerca de una fogata y éste se quema, notaremos que se

² Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre*, p. 190.

³ En este trabajo el concepto *homeostasis* es comprendido en su sentido más amplio. “Homeostasis son las reacciones fisiológicas coordinadas y vastamente automáticas que mantienen el equilibrio interno de un organismo viviente” (Damasio, 2001, p. 55).

alejará inmediatamente del fuego. *Instintos y motivaciones* los primeros están relacionados con la idea de satisfacer necesidades básicas, por ejemplo, comer o beber agua. Las motivaciones —en el caso de los seres humanos— se refieren a la idea consciente de satisfacer un instinto. *Emociones* alude al conjunto de emociones primarias como son alegría, tristeza, miedo, ira, sorpresa o asco. ¿Por qué son importantes estos niveles? Para Damasio proponer esta iconografía representa esclarecer los diferentes componentes emotivos que subyacen a las emociones.

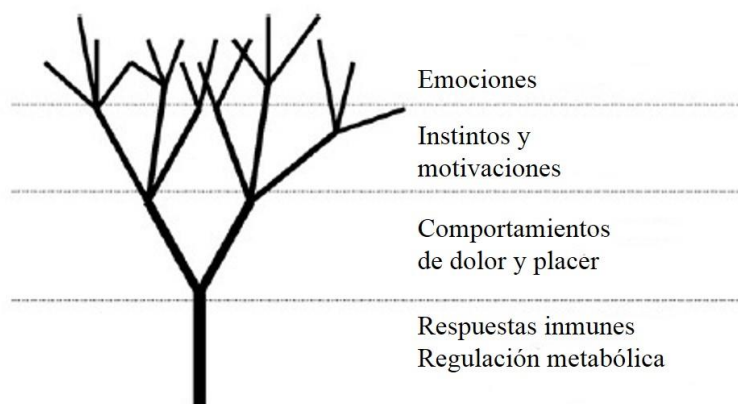


Figura 1. Niveles de regulación homeostática automatizada, desde lo simple a lo complejo. Adaptado de Damasio, 2005, p. 41.

¿Qué es una emoción? En este trabajo, una emoción es comprendida como una respuesta estereotipada ante cierto estímulo y, además, estas respuestas están relacionadas con la supervivencia del organismo.⁴ En palabras de Antonio Damasio.

Las emociones son complejas colecciones de respuestas químicas y neurales que conforman un patrón. Todas cumplen algún papel regulador, destinado de una manera u otra a crear circunstancias ventajosas para el organismo que presenta el fenómeno. Las emociones *se refieren a la vida* de un organismo, a su cuerpo para ser precisos, y su papel es ayudar al organismo a conservarla (Damasio, 2005, p. 67).

⁴ Como se mencionó al principio del capítulo no existe un acuerdo respecto a qué es una emoción. Por ejemplo, en el trabajo *A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition*, Kleinginna & Kleinginna (1981) estudiaron 92 definiciones del concepto *emoción*. Sin embargo, la definición de Damasio funciona para esta investigación debido a que diversas investigaciones —que serán analizadas en el capítulo cuatro— retoman los supuestos de este autor para construir sus modelos.

Las emociones son una parte esencial para preservar la vida de los organismos. Las respuestas químicas y neurales son producidas en el cerebro cuando se detecta un estímulo capaz de desencadenarlas.⁵ Las respuestas son automáticas (Damasio, 2005). No obstante, es necesario mencionar la relación que existe entre las emociones y la arquitectura cerebral. La razón de exponer esto es esclarecer un poco las ventajas que emergieron a partir de este vínculo.

La aparición de estructuras cerebrales capaces de detectar si lo que se va a recibir es una «amenaza» o un «bien» para el organismo fue también importante. Más allá de presentir en sí mismos qué era bueno o una amenaza, los cerebros empezaron a utilizar indicios para *predecirlo*. La llegada de algo bueno se señalaría con la secreción de una molécula como la dopamina y la oxitocina; en cambio, la inminencia de una amenaza se marcaría con la hormona que secreta el cortisol o la prolactina (Damasio, 2010, p. 95).

En la cita anterior queda reflejada la importancia de las estructuras cerebrales implicadas en el procesamiento emocional. Como se puede observar, una de las principales funciones de éstas es desencadenar una serie de reacciones para el beneficio del organismo. Sin embargo, ¿cuáles son las áreas cerebrales relacionadas en el procesamiento emocional? En lo que sigue se mostrará la relación entre las emociones y las áreas cerebrales implicadas en este procesamiento. La importancia de mostrar este vínculo es comprender por qué los investigadores en el área de Robótica Cognitiva consideran esencial integrar sistemas emocionales en agentes artificiales.

Estructuras Emocionales

Las investigaciones en Neurociencia Afectiva han estado enfocadas en esclarecer cuáles son los mecanismos neuronales que subyacen a las emociones (Armony & Vuilleumier, 2013). A través de la historia, las propuestas han sido tan diversas que en la actualidad no sabemos con exactitud cuáles son las áreas cerebrales implicadas en el procesamiento emocional (Wager, Kober, Bliss-Moreau & Barrett, 2012). No obstante, es necesario conocer cuáles son algunos de los supuestos que han guiado las investigaciones en esta dis-

⁵ Si bien existe una maquinaria innata en todos los organismos, no en todos los organismos se desencadena una respuesta por el mismo estímulo. Por ejemplo, en el caso de los seres humanos existe una gran variedad de objetos que pueden desencadenar el miedo o la alegría.

ciplina. La relevancia de este ejercicio es porque así se esclarecerá cómo ha surgido el interés por parte de la comunidad científica por dilucidar el vínculo entre las emociones y los procesos cognitivos.

Dos importantes investigaciones en el estudio de las emociones son la obra de Charles Darwin (1837) y el trabajo de William James (1884). Por un lado, la importancia de Darwin reside en dos observaciones fundamentales. En primer lugar, la homología entre emociones humanas y animales y, en segundo lugar, la propuesta de que todos los animales estamos dotados de un conjunto de emociones básicas que están relacionadas con la supervivencia de los seres vivos (Dalgeish, 2004). Por otro lado, la trascendencia de James es la noción de que las emociones son en esencia una serie de cambios fisiológicos. Esto quiere decir que ante un estímulo —por ejemplo, la aparición de un oso mientras caminamos en el bosque— primero se desencadenan una serie de cambios corporales y después experimentamos una emoción. Por esta razón, James sostuvo que “nos sentimos tristes porque lloramos, enojados porque golpeamos, asustados porque temblamos” (James, 1884, p. 190) [T. del A.]. La influencia de las observaciones de estos autores en las investigaciones actuales de las emociones es, por una parte, que los estudios de Darwin impulsaron el supuesto de la existencia de un conjunto de emociones básicas entre los diferentes grupos humanos (Ekman, Sorenson, & Friese, 1969). Por otra parte, el pensamiento de James trajo como consecuencia comprender a las emociones “como un mecanismo básico, un conjunto innato fijo e inmutable, que determina implacablemente un patrón específico de reacciones corporales ante determinados estímulos ambientales” (Damasio, 1994, p. 154). Otra secuela importante —del pensamiento darwiniano y jamesiano— fue que influyeron en las primeras propuestas neuroanatómicas que intentaron dilucidar el funcionamiento del procesamiento emocional.

El Sistema Límbico

Una de las propuestas más citadas —en el área de la fisiología de la emoción— es el *sistema límbico*⁶ esbozado y defendido por Paul McLean (1949). En esta arquitectura

⁶ Es importante mencionar que el primero en postular el concepto de *Límbico* fue Paul Broca con la noción de *Gran Lóbulo Límbico*. Sin embargo, Broca pensaba que esta estructura estaba relacionada principalmente con el sentido del olfato (Purves, Fitzpatrick, Hall, Lamantia, Mcnamara & Williams, 2008).

McLean pretendía explicar cuáles son las áreas cerebrales implicadas en el procesamiento emocional. Su trabajo fue influenciado, principalmente, por las investigaciones de James Papez y Kluver-Bucy (Dalgleish, Dunn & Mobbs, 2009). Por una parte, la importancia de Papez radica en la propuesta de que existen dos vías implicadas en el procesamiento emocional: una vía corta y una vía larga. La vía corta relacionada con los cambios corporales que ocurren al presenciar un estímulo emocional y la vía larga implicada en la capacidad de experimentar un sentimiento (Dalgeish, 2004). Por otra parte, la importancia de Kluver-Bucy (1937) es el énfasis en incluir a la amígdala como un componente esencial en el procesamiento emocional. Las estructuras cerebrales que MacLean postuló son principalmente: el cuerpo calloso, el cuerpo mamilar, el hipocampo, el giro cingulado, la amígdala, entre otras (figura 2).

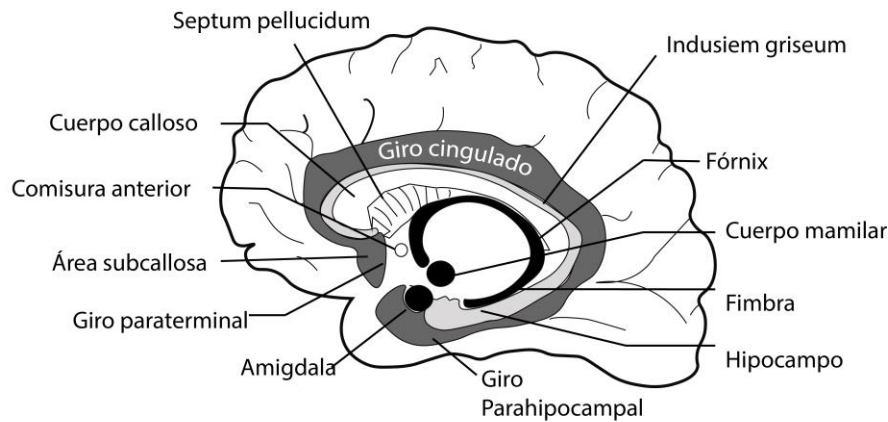


Figura 2. El Sistema Límbico. Adaptado de Dalgeish et al., 2009.

Otro de los aportes importantes de esta propuesta es el énfasis en la relación entre este sistema y la supervivencia de los organismos. Ledoux (1999) lo explicó con las siguientes palabras.

[McLean] Sugirió también que las estructuras del sistema límbico obedecen a un desarrollo filogenéticamente temprano de las neuronas que funcionan de forma integrada, más bien como un sistema, para mantener la supervivencia de los individuos y de las especies. Este sistema evolucionó para ocuparse de las funciones viscerales y las conductas afectivas, como la nutrición, la defensa y la reproducción, y constituye la base del aspecto emocional y visceral del individuo (Ledoux, 1999, p. 108).

La propuesta del sistema límbico ha sido criticada por la comunidad científica. Una de las principales razones es, justamente, porque McLean argumentó la existencia de tres estructuras diferenciales clasificadas, en primer lugar, por su función y ubicación y, en segundo lugar, por su historia filogenética. Esto significa que el cerebro de los vertebrados podía ser estudiado a partir del análisis de un cerebro reptiliano —especies primitivas, por ejemplo, el cocodrilo—, un cerebro paleomamífero —mamíferos inferiores, a saber, las ratas— y un cerebro neomamífero —mamíferos superiores, por ejemplo, los seres humanos (figura 3).

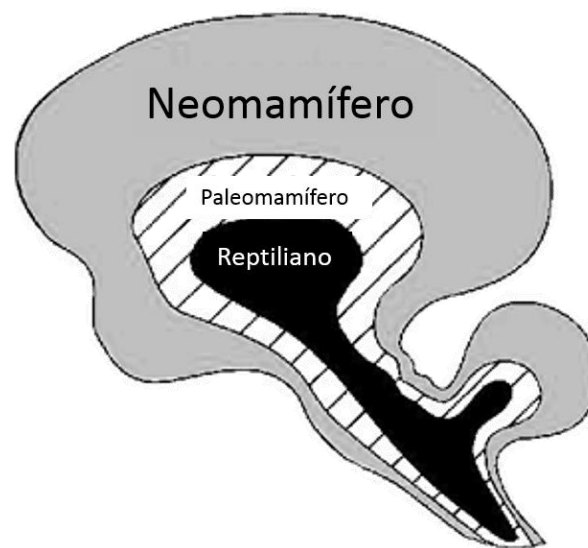


Figura 3. Las estructuras diferenciadas por su historia filogenética según McLean. Consultado en Newman & Harris, 2009.

Las críticas a esta propuesta han sido dirigidas principalmente por los descubrimientos de Karten (1991) y Northcutt (1995). Ellos demostraron que —en las nombradas especies primitivas— existen áreas que funcionalmente cumplen algunos criterios atribuidos al neocórtex (Ledoux, 1999). La consecuencia de estos hallazgos puede ser descrita de la siguiente manera. Según el modelo de McLean existen áreas filogenéticamente distintas en las especies y éstas pueden ser clasificadas por su aparición evolutiva. Estas áreas son más complejas según la especie. Sin embargo, si existen áreas que cumplen las mismas funciones en especies primitivas y especies más recientes, entonces, no podemos diferenciar cuáles estructuras son evolutivamente más antiguas y cuáles no. Por lo tanto, la comunidad científica no puede afirmar cuáles áreas son más primitivas que otras. No obstante, McLean

no estaba equivocado del todo ya que algunas de las estructuras anatómicas que defendió en el sistema límbico, sí están implicadas en el procesamiento emocional —por ejemplo, el hipotálamo o la amígdala. En la figura 4 se exponen algunas de las principales áreas cerebrales relacionadas con las emociones en la actualidad (Damasio, 2006, 2005).

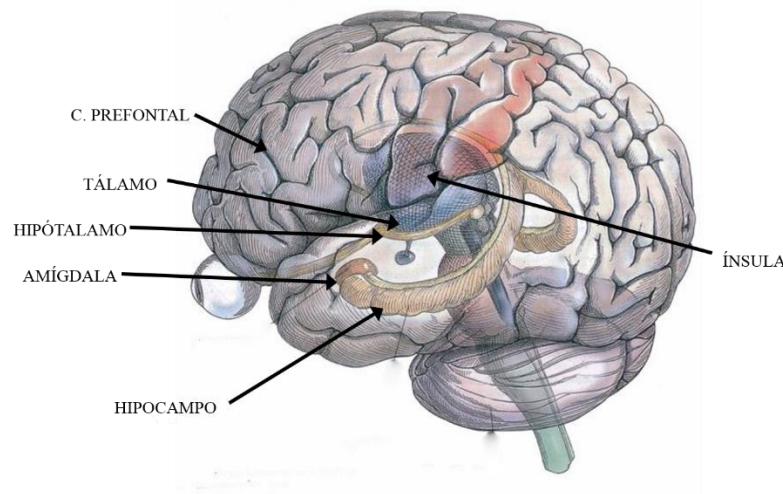


Figura 4. Estructuras cerebrales relacionadas con las emociones.

El análisis de las áreas cerebrales implicadas en el procesamiento emocional es fundamental porque “las bases de los estudios neurobiológicos de la emoción son esenciales para identificar los circuitos específicos y los mecanismos en el cerebro que subyacen al fenómeno emocional” (Ledoux, 2012, p. 1) [T. del A.]. Además, el estudio de las áreas cerebrales relacionadas con las emociones y sus correlatos en la conducta, ha tenido una trascendencia importante para entender lo que ocurre cuando existe una lesión en alguna de ellas (Frazzeto, G., 2014; Ramachandran, V.S, Blakeslee, S., 1999; Damasio, A. R., 1994; Klüver & Bucy, 1937).

Los ejemplos más comunes son las lesiones en la corteza prefrontal o en la amígdala. En el caso de la corteza prefrontal tenemos a Phineas Gage (Harlow, 1868). Una barra metálica atravesó desde el malar izquierdo hasta la parte superior del cráneo. Este acontecimiento ocasionó que la conducta de Gage cambiara drásticamente. Antes del accidente, él era una persona amable, amistosa y eficiente. Después del accidente se convirtió en una persona irreverente y testaruda. Lo anterior fue debido a que el accidente provocó daños en

áreas implicadas en el procesamiento emocional: en la región ventromedial de la corteza prefrontal.⁷ Harlow, el médico de Gage, lo describió con las siguientes palabras “el equilibrio entre sus facultades intelectuales y sus inclinaciones animales parecía haberse destruido” (Harlow, 1968, p. 277). En el caso de la amígdala Adolphs, Tranel, Damasio & Damasio (1994), estudiaron el *síndrome de Urbach-Wiethe*. Esta patología se caracteriza por la calcificación de ambas amígdalas. Las consecuencias para las personas que tienen esta condición son dificultades para reconocer la expresión facial de miedo (Damasio, 2005).

Hasta aquí se ha mostrado que las emociones tienen una gran importancia para explicar la conducta de los organismos. Al parecer, es vital estudiar los diferentes componentes emotivos que subyacen a las emociones y su relación con las estructuras cerebrales. En el siguiente capítulo se expondrá cómo ha surgido el interés de los robóticos cognitivos por profundizar en este tema.

⁷ A partir de la publicación de Hanna Damasio *The return of Phineas Gage: clues about the Brain From the skull of a famous patient* ha existido una polémica respecto a, exactamente, qué áreas fueron afectadas por el accidente de Gage. Sin embargo, el propósito de esta investigación no es dilucidar este debate. El objetivo es enfatizar en que cualquier lesión o déficit en alguna de las partes del sistema emocional repercutirá en la conducta de los organismos.

Capítulo tres

Robótica cognitiva y emociones

“Hay tres grandes acontecimientos en la historia. Uno la creación del universo. Otro, la aparición de la vida. El tercero, creo de igual importancia, es la aparición de la inteligencia artificial”.

Edward Fredkin ⁸

Para esclarecer cuál es el objeto de estudio de la Robótica Cognitiva, es necesario explicar cuáles son los supuestos conceptuales y metodológicos que guían la investigación en esta área de las Ciencias Cognitivas. Por un lado, en este capítulo se explicará cuáles son los rasgos característicos de ésta y las principales diferencias con la Inteligencia Artificial Tradicional de mediados del siglo pasado —a esta Inteligencia Artificial se le nombró GOFAI por sus siglas en inglés *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence*. Por otro lado, se mostrará por qué los robóticos cognitivos recientemente, enfatizan la importancia de implementar sistemas emocionales en sus agentes.

Inteligencia Artificial y Robótica Cognitiva

Uno de los trabajos que planteó las bases para la fundación de la Inteligencia Artificial fue publicado por Alan Turing (1950). En ese artículo formuló la pregunta, ¿pueden pensar las máquinas? Para responderla planteó el juego de la imitación, que posteriormente sería conocido como *La prueba de Turing*. El razonamiento detrás de este ejercicio era que, si los humanos son capaces de inventar una máquina que puede responder correctamente algunas preguntas, y los mismos humanos no son capaces de distinguir, entre la respuesta de la máquina y un miembro de su misma especie, es posible concluir que los procesos computacionales que la máquina realiza son en algún modo similares a los procesos mentales que realiza el ser humano —pues si las respuestas fueran tan diferentes, el ser humano podría detectar al autor fácilmente. La importancia del trabajo de Turing es, justamente, que formuló la posibilidad de crear un artefacto que imitara algunos de los rasgos del pensamiento humano.

⁸ Copeland, J. (1996). *Inteligencia artificial: una introducción filosófica*, p. 17.

Con la influencia del razonamiento de Turing, en 1956 se originó la Inteligencia Artificial en las conferencias de Darmouth organizadas por John McCarthy (Copeland, 2007). “Uno de los principales objetivos de la Inteligencia Artificial fue la de construir sistemas computacionales que fueran genuinamente inteligentes” (Boden, 2014, p. 115) [T. del A.]. Para los investigadores suscritos a esta área, la inteligencia de los seres vivos consistía en el procesamiento de información de manera similar a como lo realiza un ordenador. Con esta hipótesis en mente la comunidad científica comenzó a diseñar artefactos que imitaran capacidades cognitivas de alto nivel. Uno de los ejemplos más icónicos fueron las máquinas capaces de jugar ajedrez. Históricamente, el ajedrez ha sido considerado como una actividad que requiere de diversos procesos mentales, por ejemplo, atención, toma de decisiones, memoria a corto y largo plazo, entre otros (Pachman, Kühnmond & Bravo, 1982). Entonces, la razón de intentar modelar e implementar esta actividad es que suponían que “si se pudiera crear una máquina de ajedrez exitosa, podríamos entender el núcleo del intelecto humano” (Newell, Shaw & Simon, 1958, p. 39) [T. del A.]. En otras palabras, la invención de una máquina que lograra derrotar a los mejores jugadores de ajedrez acercaría a la comunidad científica a comprender un poco más el funcionamiento de la cognición humana. En 1997 IBM creó a *Deep Blue*, una computadora que consiguió derrotar al campeón mundial Gary Kasparov (Campbell, Hoane & Hsu, 2002).⁹ Sin embargo, a pesar de este gran avance, los programas de computadora aún no reflejaban rasgos característicos del funcionamiento cognitivo de los seres humanos. Por consiguiente, el programa de investigación propuesto por los estudiosos de la Inteligencia Artificial Tradicional fue sometido a diversas problemáticas. En primer lugar, Searle (1980) realizó un análisis a los principales supuestos de la Inteligencia Artificial Tradicional. Con el experimento mental de *la habitación china* demostró que, aunque las computadoras puedan manipular los símbolos correctos (sintaxis), aún carecen del significado que caracteriza la interacción entre los seres humanos (semántica). En segundo lugar, Harnad (1990) nombró *el problema del anclaje de los símbolos* a la incapacidad de los sistemas computacionales para dar significado a elementos que están fuera de éste. Según Harnad el problema es análogo a intentar aprender

⁹ Después de derrotar al campeón del mundo de ajedrez, los investigadores de IBM diseñaron a Watson. Una computadora que consiguió derrotar a los dos mejores jugadores de Jeopardy. Una de las consecuencias importantes de este programa es que ha planteado la posibilidad de utilizarlo en el campo médico con el objetivo de realizar diagnósticos más certeros (Ferrucci, et al. 2013).

chino como segunda lengua, únicamente, con un diccionario chino/chino (Harnad, 1990). En tercer lugar, *el problema del marco* propuesto por Dennet (1984), evidenció las dificultades con las que un robot se enfrentaría al intentar extraer los rasgos relevantes del entorno para consumir una tarea. Por lo anterior, el rumbo que originalmente tomó la Inteligencia Artificial para comprender el funcionamiento de la cognición humana, no fue completamente satisfactorio. Uno de los rasgos en los que convergen estos tres problemas es en la ausencia de interacción entre los sistemas computacionales y el ambiente (Ziemke, 2016; Pfeifer, 1999; Brooks, 1990).

Con el propósito de superar los problemas antes mencionados, la Robótica Cognitiva surgió como una nueva visión de la Inteligencia Artificial en la que se retoman algunos de los principales supuestos de la Cognición Corporizada. Por ejemplo, la importancia de la interacción del cuerpo y el entorno para explicar los fenómenos mentales (Clark, 1999; Damasio, 1994; Varela, 1992). La clave aquí es la interacción, ya que es a partir de ésta que los organismos adquieren esquemas sensoriomotrices que les permiten categorizar y relacionarse en el mundo.

La categorización es la capacidad de hacer distinciones en el mundo real, es decir, discriminar e identificar estímulos sensoriales, eventos, actos motores, emociones, etc. Esta habilidad es de fundamental importancia para la cognición y el comportamiento inteligente porque un organismo incapaz de formar categorías no tiene muchas posibilidades de supervivencia —a menos que las categorías sean innatas, pero entonces no son flexibles (Lungarella, Pfeifer & Sandini, 2003, p. 161) [T. del A.].

La importancia del estudio de los esquemas sensoriomotrices y su relación con el ambiente tuvo una gran influencia a partir de las observaciones de Brooks (1990), él argumentó que el movimiento es un rasgo esencial para estudiar la cognición. Una de las razones es precisamente que, si pensamos en la historia evolutiva de los organismos vivos, las habilidades motoras para interactuar en el mundo aparecieron mucho antes que las habilidades cognitivas de alto nivel. Estas ideas tuvieron gran aceptación en el área de la Robótica Cognitiva. Por ejemplo, Pfeifer & Scheier (1999) enfatizaron la importancia de estudiar la relación entre el sistema sensorial y motor para comprender la cognición, Wolpert (2007) señaló que, si comparamos la destreza motora de un niño de cinco años con la de un robot

al manipular una pieza de ajedrez en el tablero, el desempeño motor del robot sería notoriamente deficiente. Entonces, —al parecer— para los robóticos cognitivos, el estudio del cuerpo, en particular el análisis de los esquemas sensoriomotrices y su relación con el entorno (interacción), es el rasgo vital para explicar los procesos cognitivos.

No obstante, algunos autores consideran que la interacción, aunque es necesaria, no es suficiente para poder estudiar los procesos cognitivos con el enfoque de la Cognición Corporizada. Ziemke (2016) realizó una revisión al uso del concepto *corporizado*, principalmente, en Ciencias Cognitivas y Robótica Cognitiva.¹⁰ Por un lado, algunos investigadores consideran esencial un cuerpo orgánico para poder explicar los procesos cognitivos corporizados (Maturana & Varela, 1987; Varela et al., 1992). Para ellos, los mecanismos biológicos de autorregulación, por ejemplo, homeostasis/alostasis¹¹ tienen una gran importancia en los procesos cognitivos de los organismos. Por otro lado, en diferentes trabajos se ha señalado que no es imprescindible un cuerpo orgánico para poder estudiar la cognición con las premisas de la Cognición Corporizada (Zlatev, 2001). Lo interesante de esta discusión es, justamente, que la conclusión de Ziemke apuntó a que es necesario vincular el análisis de los mecanismos biológicos de autorregulación con los estudios en Robótica Cognitiva. El propósito de esto es precisamente, consumir investigaciones más robustas en la creación de agentes artificiales que sean corporizados y autónomos. Sin embargo, antes de continuar es importante esclarecer cómo se ha utilizado, generalmente, el concepto de autonomía en el campo de la Robótica Cognitiva.

Ziemke (2008) analizó y esclareció dos características esenciales de la autonomía, a saber, los procesos constitutivos (internos) y los procesos interactivos (externos). La importancia de estos es, por un lado, que los procesos constitutivos están relacionados con la capacidad que tiene un organismo para crear sus propias normas (Barandiaran, X. & Moreno, A., 2006, p. 12) [T. del A.]. Es decir, son mecanismos internos que autorregulan al organismo, por ejemplo, los mecanismos fisiológicos encargados de la distribución de la sangre

¹⁰ Aunque Ziemke se refirió a Inteligencia Artificial Corporizada sus observaciones pueden ser aplicadas a la Robótica Cognitiva.

¹¹ El concepto *Alostasis* es comprendido en su significado más general. “Alostasis es el proceso que en forma activa mantiene la homeostasis” (McEwen, 2004, p. 68).

por todo el cuerpo. Por otro lado, los procesos interactivos son aquellos mecanismos involucrados en la relación entre el agente y el ambiente externo. Moreno (2008) y Pfeifer (1999) señalaron que la noción de autonomía en agentes artificiales, generalmente, ha sido utilizada para explicar procesos interactivos en el sentido de enfatizar la independencia del control humano. Por ejemplo, las investigaciones dirigidas a la interacción humano-robot (Kowalczyk & Czubenko, 2016).

Robótica Externa y Robótica Interna

Parisi (2004) propuso una división entre lo que denominó *Robótica Externa* y *Robótica Interna*. Parisi y Moreno coincidieron en que la mayor parte de la investigación en Robótica Cognitiva ha estado enfocada en estudiar los rasgos observables del comportamiento. En otras palabras, la interacción externa y no lo que ocurre en el interior corporal del agente. Un primer ejemplo de Robótica Externa se puede rastrear a partir del descubrimiento de las neuronas espejo (Rizzolatti et al., 1996). Estos investigadores estudiaban los mecanismos neuronales implicados al realizar actos motores en macacos. Descubrieron que había una activación neural en el mono al realizar y observar un acto motor. En el área de la Robótica Cognitiva surgió un gran interés por crear modelos computacionales (Oztop, Kawato & Arbib, 2006) que imitaran la conducta de estas neuronas. Un segundo ejemplo se puede ubicar en el trabajo de Stoytchev (2005). Su investigación estuvo enfocada en estudiar el desarrollo de la capacidad de un robot para asir diferentes objetos. Cada uno de los objetos presentaba diferentes características. Por ejemplo, unos eran más largos o más anchos que otros. La habilidad para asirlos se logró a partir del aprendizaje de movimientos aleatorios en los que el robot consiguió explorar sus capacidades y limitaciones corporales. El rasgo relevante de los ejemplos mencionados, es que ambas investigaciones estuvieron enfocadas en estudiar las características externas que determinaron la conducta del robot. En el primer caso, la capacidad para imitar a otro organismo y, en el segundo la habilidad para manipular los objetos.

Parisi (2011, 2010, 2004) recalcó la idea de que los organismos biológicos están inmersos simultáneamente en un medio interno y un medio externo. La importancia de estudiar los procesos que ocurren en el medio interno es precisamente, que a partir del esclarecimiento de éstos podremos comprender los sistemas emocionales y su relación con el

comportamiento en tareas de acción, selección, atención y aprendizaje (Arbib et al., 2004). Algunos ejemplos de aplicación en el campo de la Robótica Interna son el modelamiento e implementación de sistemas emocionales en agentes artificiales. Es decir, agentes artificiales que tienen motivaciones como comer, jugar o descansar (Coutinho, Miranda & Cangelosi, 2005) e incluso robots que buscan emular emociones como felicidad, enojo, miedo y tristeza (Malfaz & Salichs, 2004). En el siguiente capítulo se expondrán, analizarán y clasificarán algunos ejemplos de estos modelos.

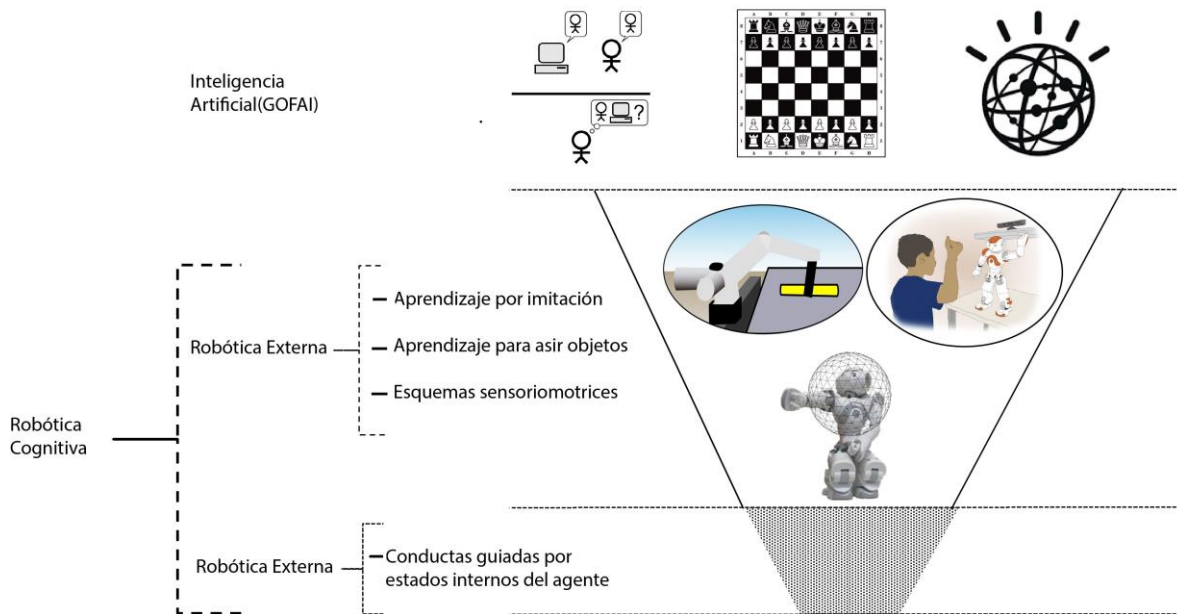


Figura 5. Inteligencia Artificial Tradicional (GOFAI), Robótica Cognitiva y la división propuesta por Parisi (2004): Robótica Externa y Robótica Interna.

En resumen, en esta sección se pueden analizar tres características que ayudarán a comprender cómo es que surgió la Robótica Cognitiva y cuáles son sus principales supuestos (figura 5). Primero, el enfoque de las investigaciones en Inteligencia Artificial Tradicional (GOFAI) de mediados del siglo pasado. Segundo, el surgimiento de la Robótica Cognitiva. Tercero, la división entre Robótica Externa y Robótica Interna. Se puede observar que, recientemente, existe la inquietud de los robóticos cognitivos para comprender la importancia de los mecanismos biológicos internos e implementarlos en agentes artificiales.

Capítulo cuatro

Emociones artificiales

“La cuestión no es si las máquinas inteligentes podrán tener emociones, sino si podrán ser inteligentes sin tenerlas”.

Marvin Minsky¹²

La importancia de dotar a agentes artificiales con sistemas emocionales artificiales es justamente, incrementar la capacidad de éstos para interactuar de forma autónoma y coherente con el mundo. En otras palabras, las investigaciones en Robótica Cognitiva necesitan enfocar sus estudios en modelar no sólo las características externas, sino también los rasgos internos. La división que Parisi (2004) postuló entre Robótica Externa y Robótica Interna apuntó precisamente hacia este punto. La razón es debido a que este autor consideró que la “conducta es el resultado de la interacción del sistema nervioso de un organismo con un ambiente externo y un ambiente interno, i.e. con lo que se encuentra dentro del cuerpo de organismo” (Parisi, 2004, p. 2) [T. del A.]. Entonces, según Parisi, para construir un robot que tenga emociones es necesario que los mecanismos internos (ambiente interno) intervengan en el comportamiento del agente (Parisi, 2011, 2010, 2004; Arbib et al., 2004; Fellous, 2004). Por lo anterior, es importante resaltar la distinción entre expresar, reconocer y tener emociones (Arbib et al., 2004; Parisi & Petrosino, 2010). La importancia de esta diferencia es porque muchas investigaciones —dirigidas a la interacción humano-robot— han estado enfocadas en la expresión y el reconocimiento de éstas (Fong, Nourbakhsh & Dautenhahn, 2002). Sin embargo, difícilmente se podría afirmar que estos robots tienen emociones debido a la ausencia del modelado de su base biológica (ambiente interno).¹³ Los especialistas del área HRI —por su nombre en inglés *Human-Robot Interaction*— han orientado sus estudios en conseguir una interacción satisfactoria entre una persona y un robot. Actualmente, estos artefactos han sido utilizados en, por ejemplo, terapias de rehabilitación para niños con autismo (Dautenhahn & Werry, 2004), con fines pedagógicos (Ka-

¹² Minsky, M. (1988). *Society of mind*. p. 163.

¹³ La base biológica de las emociones fue expuesta en la figura 1 del segundo capítulo.

rahoca, Karahoca & Uzunboylub, 2011) o actividades recreativas (Kanamori, Suzuki & Tanaka, 2002).

En este capítulo se expondrán una serie de argumentos y ejemplos con el propósito de esclarecer, por un lado, a qué se refieren los robóticos cognitivos cuando postulan la posibilidad de que un robot tenga emociones y, por otro lado, comprender la importancia de dotar a los agentes artificiales con sistemas emocionales.

Tener una emoción: ¿por qué los robots necesitan sistemas emocionales?

Los modelos generados en Robótica Cognitiva tienen una fuerte inspiración biológica y el caso de los sistemas emocionales artificiales no es la excepción. Todos los animales tienen diferentes motivaciones y a su vez estas motivaciones generan una conducta con el propósito de satisfacer una necesidad (Parisi & Petrosino, 2010). Al parecer, si los robóticos cognitivos intentan construir agentes artificiales autónomos, es necesario incluir en éstos un modelo de la base biológica de las emociones. Es decir, modelos que incluyan regulación metabólica, conductas de dolor y placer, motivaciones, etc. En otras palabras, un mecanismo que guíe sus acciones, sus decisiones y les permita conseguir un mejor desempeño en el ambiente que en el que interactúen.

El estudio de las emociones y su base biológica en agentes artificiales permite, en primer lugar, poner a prueba hipótesis acerca de cuál es la importancia de ésta en organismos vivos. Es decir, los robots pueden ser utilizados para explorar ideas respecto a una conducta específica, cuando la conducta es considerada como el resultado de la interacción entre un ambiente, un cuerpo y un sistema de control (Webb, 2000). La razón de esta afirmación es, en primer lugar, porque en estos agentes es posible, agregar o quitar partes vitales y repararlas o no sin ninguna consecuencia ética. En cambio, en un organismo biológico esto no sería posible. En segundo lugar, otra de las aportaciones importantes de integrar este análisis en la explicación de la conducta de los organismos artificiales es porque — como se verá más adelante— en la actualidad existen pocos trabajos enfocados en construir agentes artificiales que contemplen estas características.¹⁴ Al parecer, es plausible conside-

¹⁴ Por esta razón, antes de finalizar el capítulo, se mostrará una clasificación que ilustra cuáles son los componentes emotivos que han sido estudiados por los robóticos cognitivos.

rar que el modelado de los componentes que constituyen la base biológica de las emociones ayudará a enriquecer el entendimiento de cómo funciona la conducta en organismos biológicos (Ruini et al., 2010). En tercer lugar, la inclusión del estudio de las emociones en el área de Robótica Cognitiva podría enriquecer la comprensión de la relación funcional entre emociones y cognición.

Parisi (2011) señaló que la ausencia del estudio de las emociones —en general, en las ciencias encargadas del estudio de la mente y, en particular, en Robótica Cognitiva— conlleva a la presencia de la dicotomía cognición/emoción en el estudio de los fenómenos mentales. Según este autor:

La mente tiende a ser identificada con la cognición, es decir, con conocimiento, razonamiento, decisión y acción. Pero la cognición es solamente la mitad de la mente. La otra mitad de la mente, es la parte emocional... Los organismos no solamente, tienen conocimiento, objetivos y la capacidad para actuar. También tienen motivaciones y estados emocionales los cuáles son imprescindibles en la conducta (Parisi, 2011, p. 1) [T. del A.].

La reflexión anterior es importante, precisamente, porque resalta el rol de las emociones para obtener una imagen completa de la conducta de los organismos. En el caso de los agentes artificiales esto significa tener emociones —es decir, mecanismo artificial cuya función es homologa a un sistema biológico— y no solamente expresarlas o reconocerlas.

Parisi (2011, 2010, 2004) dilucidó las características que consideró necesarias para construir robots que tengan sistemas emocionales. Como se explicó, según este autor, uno de los rasgos esenciales es que las emociones influyan en la conducta del robot. Por esta razón, afirmó que para que un robot tenga emociones es necesario que primero tenga motivaciones y éstas compitan entre ellas para guiar la conducta del agente. La eficacia de esta competencia reside en que, en los organismos biológicos la competencia entre las motivaciones ayuda a guiar una conducta, por ejemplo, elegir entre reproducirse o escapar de un depredador (Parisi & Petrosino, 2010).

Para esclarecer cómo las motivaciones guían la conducta, es importante distinguir los dos niveles dilucidados por Ruini, Petrosino, Saglimbeni y Parisi (2010). El nivel motivacional (o estratégico) y el nivel cognitivo (o táctico). Comprender esta diferencia es in-

dispensable debido a que se entenderá por qué las motivaciones son vitales para explicar la conducta de los organismos —y como consecuencia, por qué es esencial que los agentes artificiales tengan motivaciones.

El nivel motivacional es aquel en el que el organismo decide cuál de las diferentes motivaciones podría controlar su comportamiento.¹⁵ El nivel cognitivo se refiere a la ejecución de una conducta específica para satisfacer estas motivaciones (Ruini et al., 2010). En otras palabras, esto quiere decir que el nivel motivacional está vinculado con detectar aquellas necesidades vitales para el organismo y el nivel cognitivo está involucrado en saciar correctamente alguna motivación. La importancia de la armonía entre estos dos niveles es indispensable debido a que una falla en alguno de éstos, podría repercutir en la supervivencia del organismo. Por ejemplo, si imaginamos a un animal que tiene la motivación de comer, pero su conducta lo guía hacía una fuente de agua. Entonces, el animal moriría. El nivel motivacional procesa información del interior del organismo. El nivel cognitivo del exterior del organismo. En esta línea Ortony, Norman & Revelle (2005) estudiaron las principales características que necesita un organismo para sobrevivir en el mundo. Estos investigadores propusieron que la conducta de un organismo está guiada por diferentes niveles: el nivel reactivo, el cual está relacionado con conductas de acercamiento o retirada acorde con las necesidades y las motivaciones del organismo. El nivel de rutina, en el que el organismo efectúa conductas relacionadas con lo que ha aprendido. El nivel reflexivo está implicado con procesos cognitivos de orden superior p. eje. estados emocionales que necesitan evocar una imagen del pasado. Se puede observar que tanto para Parisi & Petrosino (2010), Ruini et al. (2010) y Ortony et al. (2005), las motivaciones tienen un rol esencial para esclarecer el funcionamiento de la conducta de los organismos. En otras palabras, para ellos los diferentes componentes emotivos de la base biológica de las emociones son esenciales.

Hasta ahora se ha mostrado que una de las principales razones por las que los robóticos cognitivos consideran esencial que los robots tengan emociones es porque en algunas

¹⁵ Es importante aclarar que, aunque los autores utilizan el verbo *decidir*, se refieren a un proceso de bajo nivel, automático, que está relacionado con la supervivencia de organismo. Por ejemplo, la regulación metabólica.

investigaciones, principalmente, en el área de la psicología o las neurociencias se ha demostrado que las emociones son una parte vital en la supervivencia, el comportamiento y los procesos cognitivos de los organismos vivos (Coutinho et al., 2005; De Freitas & Queiroz, 2007). Como se revisó en el capítulo dos, los supuestos de Damasio (2010, 2006, 2005, 1994) enfatizan en la base biológica de las emociones como componente fundacional de la cognición. Al parecer las emociones están presentes en todos los niveles en los que un organismo está inmerso. Desde el nivel de regulación vital básica hasta los niveles sociales en los seres humanos. Sin embargo, en el caso de los robots, ¿es necesario que éstos tengan sistemas emocionales? Algunos investigadores consideran que sí.

Las emociones son necesarias para la supervivencia de los individuos y de las especies. Por lo tanto, todos los organismos en la tierra necesitan sistemas emocionales. Los sistemas emocionales les permiten explorar de manera más eficaz e interactuar con su ambiente, comer, beber, aparearse [...]. Entonces, un robot diseñado para sobrevivir en el mundo requeriría de un sistema equivalente que influya en sus acciones y decisiones (Kelley, 2005, pág. 30) [T. del A.].

En la cita anterior se puede observar la importancia de los sistemas emocionales en los organismos, ya sean naturales o artificiales. Postular el modelado de un sistema artificial emocional que cumpla las mismas funciones que un sistema biológico parece ser crucial en el campo de la Robótica Cognitiva. En relación a lo anterior, Cañamero (2003), apuntó que los robots necesitan emociones artificiales por la misma razón que los humanos y animales necesitan emociones, a saber, porque les ayuda a resolver los problemas con los que podrían enfrentarse en su ambiente —buscar alimento, huir de alguna amenaza. Arbid & Fellous (2004) acentuaron la importancia de extraer las cualidades funcionales del cerebro —en relación con las emociones— para la supervivencia de los organismos. Según estos autores.

Los robots son dispositivos mecánicos con “cerebros” de silicio, no son producto de la evolución biológica. Sin embargo, para un mejor entendimiento de los sistemas biológicos, podemos extraer los principios operacionales del cerebro, ya que éstos no dependen del medio físico en los cuáles son implementados. Estos principios pueden ser modelados para algunas arquitecturas en robótica hasta el punto que podríamos hablar de emociones-robot (Arbid & Fellous, 2004, pág. 1) [T. del A.].

La finalidad de abstraer y modelar las características funcionales de los organismos biológicos es, precisamente, enriquecer el desempeño de los agentes artificiales con ayuda de procesos emocionales (De Freitas & Queiroz, 2007). Entonces, ¿un robot puede tener emociones? Si se le pregunta a un paciente —al cual se le ha implantado un dispositivo mecánico capaz de bombear sangre por todo su cuerpo— si tiene corazón, su respuesta será: sí, tengo un corazón artificial. De manera similar, si en un futuro se le preguntara a una computadora si tiene emociones, su respuesta será: sí, tengo emociones artificiales. Mientras tanto, ¿cómo podemos implementar emociones en agentes artificiales? (Fellous, 2004).

Robots con sistemas emocionales artificiales

Diferentes autores sostienen que para que un robot tenga emociones es necesario integrar un modelo que incluya la base biológica de éstas (Parisi, 2010; Kelley; 2005 Cañamero, 2003). En lo que sigue se expondrán, concretamente, algunos ejemplos que se consideraron importantes para este trabajo. Los agentes artificiales de estas investigaciones fueron construidos con algunas o todas las características de la base biológica de las emociones. Examinar estos enfoques resulta muy importante debido a que la conducta de estos agentes es guiada por la simulación de regulaciones metabólicas, comportamientos de dolor o placer, motivaciones y/o emociones.

Comportamientos de dolor y placer

El primer ejemplo es la investigación de Kusano, Nozawa & Ideh (2008). Ellos se enfocaron en construir un diseño para imitar la interacción emocional de los seres humanos a través de la implementación de un sistema multirobot.¹⁶ En otras palabras, su trabajo es una abstracción de cómo se forman los grupos y las sociedades humanas. Para consumir su objetivo construyeron un sistema multirobot guiado por emociones. Esto significa que las conductas de éstos son generadas por reglas basadas en patrones de atracción/evasión. Su trabajo fue dirigido por un modelo circunplejo (figura 6).

¹⁶ Es decir, utilizaron varios robots.

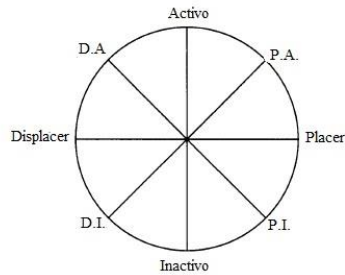


Figura 6. Modelo circumplejo. Adaptado de Kusano et al, 2008, p. 53.

Este modelo consta de dos dimensiones de valencia (placentero/displacentero) y dos dimensiones de excitación (activo/inactivo). Además, distintos cuadrantes los cuales etiquetaron como placer activo (P.A.), placer inactivo (P.I), displacer activo (D.A.) displacer inactivo (D.I.).

Su investigación estudió solamente dos dimensiones: los estados de placer y displacer. Éstos son considerados variables internas las cuáles guían la conducta de los robots con las siguientes reglas:

1. Un robot tiene un campo de visión omnidireccional, esto le permite adquirir información del entorno.
2. Un robot considera a otro robot como amigable y se aproxima a él, si el robot es detectado con un estado de placer.
3. Un robot considera a otro robot como no amigable y lo evita, si el robot es detectado con un estado de displacer.
4. Cuando otro robot o un obstáculo está en el camino, el robot entra en un estado de displacer.
5. Cuando no existe un robot o un obstáculo en el camino, el robot entra en un estado de placer.

Utilizaron tres robots los cuales fueron sometidos a dos experimentos. El objetivo del primero fue evaluar el comportamiento de los robots en un campo de prueba sin obstáculos. El propósito del segundo fue analizar el comportamiento de los robots en un campo de prueba con obstáculos. En ambos experimentos éstos tuvieron que realizar un recorrido desde la esquina superior izquierda del mapa hasta la esquina inferior derecha (figura 7).

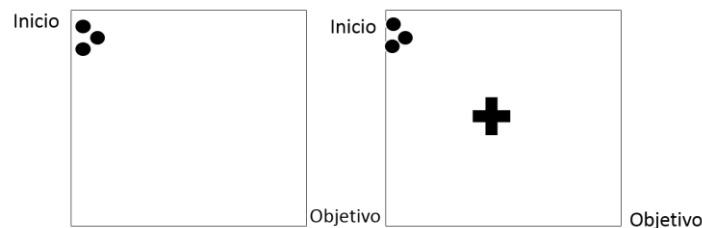


Figura 7. Campos de pruebas sin obstáculos y con obstáculos.

Para desplazarse en el campo experimental, a partir de las reglas establecidas, se generaron una serie de patrones de movimientos (figura 8). La atracción o evasión de un robot u objeto era dependiente del valor del estado de placer (P_v).¹⁷ En la figura 8 se puede observar que si P_v es mayor a 0 estaría relacionado con un estado de placentero y los robots se atraerían (a). Si P_v es menor a 0 la conducta del robot estaría guiada por un estado de displacer. Lo anterior traería como consecuencia la evasión de los robots (b). En el caso de que un robot estuviera en un estado de placer y otro no, entonces, el robot A seguiría al B (c).

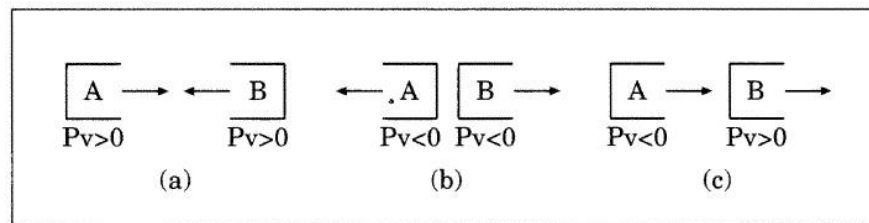


Figura 8. Patrones de movimiento de los robots. Adaptado de Kusano et al, 2008, p. 54.

¹⁷ Al inicio de cada experimento el estado de placer de cada robot fue $P_v=100$. Este valor se fue modificando en relación con la interacción de cada robot en el ambiente.

Estos patrones son claves para la formación del campo emocional de los robots. Se puede ver el campo emocional del robot A en relación con el valor de P_v de los robots B y C. Si el robot A $P_v=100$. Entonces, el robot B provocaría un estado de placer y, por el contrario, el robot C causaría un estado de displacer (figura 9).

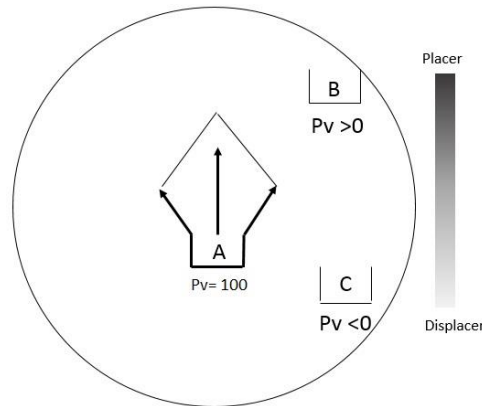


Figura 9. Formación del campo emocional. Adaptado de Kusano et al, 2008, p. 54.

Los resultados de estos investigadores indicaron —a partir de los patrones de conducta de los robots— la emergencia de una distribución de roles para completar el recorrido. Por ejemplo, la función de guiar a los otros robots para llegar al objetivo. Lo interesante de esta investigación es precisamente que en su trabajo analizaron un componente de la base biológica de las emociones para guiar la conducta de los robots: *comportamientos de dolor y placer*. Sin embargo, se puede apreciar que esta propuesta carece de mecanismos internos (regulación metabólica, motivaciones) que guíen la conducta de los robots. Para estos investigadores las emociones se pueden explicar a partir, exclusivamente, de estados de placer y/o displacer.

Comportamientos de dolor/ placer y emociones

El segundo ejemplo es el trabajo de Lee-Johnson & Carnegie (2007). Su investigación estuvo enfocada en analizar las ventajas de añadir un sistema emocional en un robot para desempeñar distintas tareas en un ambiente virtual. Las tareas fueron: realizar un recorrido por un laberinto y evadir los obstáculos del mismo. Para conseguir su propósito estos autores propusieron una arquitectura emocional jerárquica con dos niveles. El nivel reactivo y el nivel deliberativo. En nivel reactivo las emociones surgen a partir de datos emitidos por

los sensores a corto plazo. En el nivel deliberativo las emociones surgen a partir de asociaciones aprendidas entre estados ambientales y eventos previos. Entonces, en este modelo las emociones interactúan, en estos niveles arquitectónicos, controlando los parámetros que controlan la conducta del robot. Sin embargo, es importante mencionar que las categorías emotivas que se utilizaron en este trabajo son, solamente, etiquetas para distinguir las diferentes conductas del robot.

Las emociones que fueron modeladas y cuáles fueron las consecuencias en la conducta del robot son las siguientes:

- Miedo. Evitar el peligro sin importar que se reduzca la importancia de la meta actual.
- Enojo. Alcanzar el objetivo actual a pesar de las dificultades.
- Sorpresa. Explorar el medio ambiente.
- Felicidad. Proporcionar refuerzo positivo a conductas que condujeron al éxito.
- Tristeza. Proporcionar refuerzo negativo a comportamientos que condujeron al fracaso.

El robot fue sometido a diferentes experimentos para estudiar cada una de las diferentes emociones. En la figura 10 se muestra el desempeño del robot con el enojo reactivo desactivado (a) y activado (b). Al inicio del experimento, el robot comenzó rodeado de obstáculos. Las posiciones de éstos fueron representadas por las áreas de color gris claro. Para alcanzar el objetivo, el robot debía empujar los obstáculos fuera del camino, y después realizar el recorrido. En ambos experimentos el nivel deliberativo fue desactivado. Lo anterior significa que la conducta del robot dependió, completamente, de la información recopilada por los sensores a corto plazo sin la intervención de ninguna clase de aprendizaje.

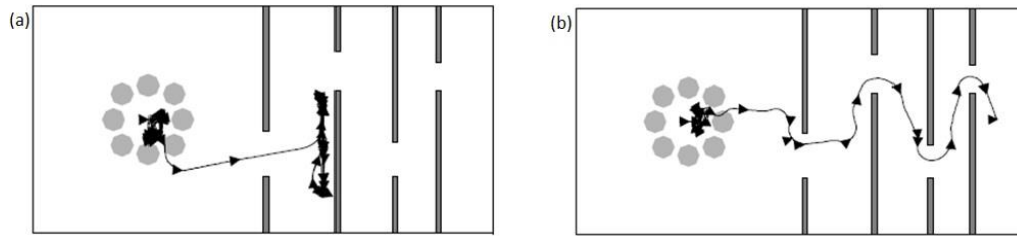


Figura 10. Recorrido del robot con el enojo reactivo desactivado y activado. Adaptado de Lee-Johnson & Carnegie, 2007, p. 2482.

Los resultados de estos investigadores indicaron que la activación del enojo reactivo mejoró, sustancialmente, el desempeño del robot al recorrer el laberinto. Sin embargo, la característica que llama la atención —para esta investigación— es que modelaron dos componentes de la base biológica de las emociones: *comportamientos de dolor y placer* y *emociones*. Se puede analizar que su modelo comparte algunos rasgos con la investigación de Kusano et al., (2008). Es decir, a pesar de que en su investigación incluyen diferentes emociones, éstas no son guiadas por regulaciones metabólicas ni por motivaciones.

Regulación metabólica, comportamientos de dolor/ placer y motivaciones

El tercer ejemplo es el trabajo realizado por Coutinho, Miranda & Cangelosi, (2005). Esta investigación estuvo centrada en comprender la emergencia de un sistema emocional a partir de un proceso de autorregulación homeostática. La primera característica importante de este trabajo es, precisamente, que los autores retomaron los supuestos de Damasio (2005) para construir su modelo explicativo. Es decir, la idea principal de que los controles homeostáticos e instintos, son parte de la maquinaria neural para la regulación biológica.

La segunda característica relevante es que, para comprender la importancia de las emociones en tareas de supervivencia, diseñaron un agente el cual habita un mundo artificial (figura 11).

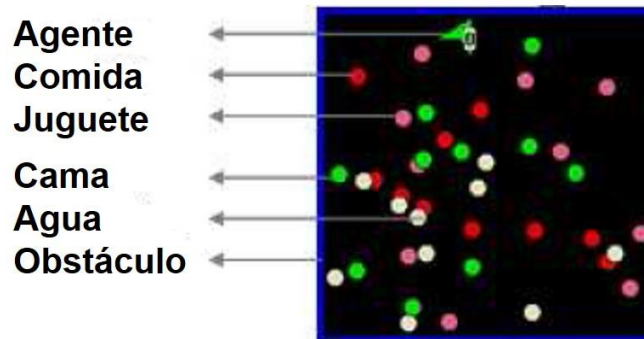


Figura 11. Mundo artificial.

El mundo virtual contiene diversos objetos que representan diferentes cosas: comida, cama, obstáculos, entre otros. A su vez cada uno de estos tiene variadas consecuencias fisiológicas que provocan alguna motivación (tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los objetos, consecuencias fisiológicas y motivaciones.

| Color del objeto | Representación | Consecuencia fisiológica | Motivación |
|------------------|----------------|-----------------------------|------------|
| Rojo | Comida | Aumenta azúcar en la sangre | Comer |
| Verde | Cama | Aumenta energía | Descansar |
| Azul | Obstáculos | Aumenta dolor | --- |
| Blanco | Agua | Aumenta volumen vascular | Beber |
| Rosa | Juguete | Aumenta endorfina | Jugar |

La tercera característica interesante es la estructura del agente que le permite interactuar en el mundo artificial. Esta estructura comprende tres aspectos (figura 12):

1. Un sistema perceptual. El cual le permite distinguir el color de los diferentes objetos y, además, calcular distancias y ángulos.
2. Un sistema motor. Que le permite desplazarse por el mundo.
3. Una red neuronal artificial. La cuál consta de tres capas. Primero, la capa de entrada está conectada al sistema perceptual y a los sensores corporales. Lo sensores corporales detectan cuáles son las necesidades internas del agente. Por ejemplo, baja o alta de azúcar. Segundo, la capa oculta está compuesta por neuronas excitatorias o inhibitorias. Tercero, la capa de salida está conectada al sistema motor y a las motivaciones.

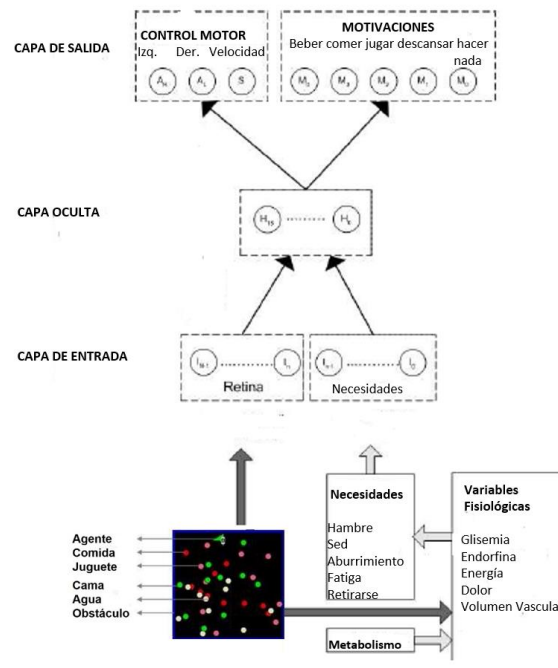


Figura 12. Mundo artificial, agente y red neuronal artificial.

Esta estructura faculta al agente para interactuar en el mundo a través del sistema perceptual, la señal es usada para excitar o inhibir las neuronas de la capa oculta según la información enviada por los sensores corporales, y ésta guía las motivaciones.

Después de llevar a cabo diferentes simulaciones, el agente artificial consiguió un proceso homeostático relacionado con su adaptación en el mundo virtual (figura 13).

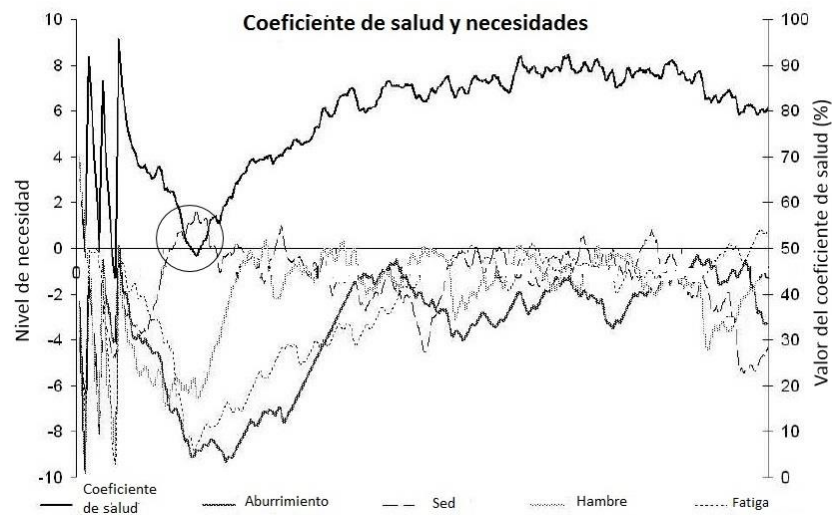


Figura 13. Coeficiente de salud y necesidades. Adaptado de Coutinho et al., 2004, p. 6.

Se puede observar que cuando todas las necesidades del agente se encuentran en equilibrio, el coeficiente de salud incrementa.¹⁸ Por el contrario, si no existe esta condición, el coeficiente de salud exhibe un notorio decremento. En la sección marcada con un círculo se ilustra esta idea. El agente mostró un alto nivel de sed lo que trajo como consecuencia que el coeficiente de salud decreciera. Los resultados de esta investigación demostraron que un sistema emocional puede emerger a partir de una sola regla: la autosupervivencia. Este trabajo resulta muy icónico para comprender el vínculo entre Robótica Cognitiva y emociones debido a que los autores modelaron casi todos los componentes emotivos postulados por Damasio (2006). Además, las tres características que fueron expuestas no están tan detalladas en ningún otro trabajo: *regulación metabólica, comportamientos de dolor y placer, motivaciones*.

Regulación metabólica, comportamientos de dolor y placer, motivaciones y emociones

El cuarto ejemplo es la investigación de Parisi & Petrosino (2010). Su trabajo estuvo enfocado en estudiar la competencia entre las diferentes motivaciones que convergen en un organismo. Para estos autores, comprender esta competencia es vital debido a que así se obtendrá un mejor entendimiento de la conducta de los organismos. La razón de lo anterior es que, generalmente, la conducta es entendida como una consecuencia del procesamiento de un estímulo externo —es decir, fuera del organismo— sin considerar lo que ocurre en el interior del organismo.

La imagen de la conducta es incompleta. Imagina a un animal que percibe un pedazo de alimento. El animal responderá a los estímulos de alimento, solamente, si el animal tiene hambre. De lo contrario, el animal, simplemente, ignorará el alimento...Una explicación de la conducta del animal requiere que se considere la motivación que controló la conducta (Parisi & Petrosino, 2010, p. 2) [T. del A.].

Para corroborar la importancia de las motivaciones en la conducta y el estado de salud de los robots, estos autores construyeron cinco clases de robots los cuáles tenían que satisfacer diferentes motivaciones: buscar comida o agua, comida o escapar de un depreda-

¹⁸ En el trabajo original los autores utilizaron el concepto *Drives* (necesidades) como aquellas que guían la atención del agente en referencia a los cambios fisiológicos. *Fitness* (coeficiente de salud) es utilizado como una función que hace énfasis en el estado del cuerpo del agente.

dor, comida o encontrar un compañero para reproducirse, comida o cuidar su descendencia, comida o descansar. Sin embargo, Parisi & Petrosino sostuvieron que para que estos robots tuvieran emociones era necesario añadir un circuito emocional con el propósito de ayudar al robot a elegir entre un estímulo y otro de una manera más óptima (figura 14). La importancia del circuito emocional radica en dos principales características. En primer lugar, éste solo se activa cuando el estímulo está presente. En otras palabras, sino llega el estímulo adecuado el circuito permanece inactivo y no tiene ninguna influencia en la conducta del robot. En segundo lugar, el circuito emocional tiene un umbral de activación. Esto responde al grado de importancia entre un estímulo y otro. Así, por ejemplo, si el robot necesita agua, pero es más importante comer, el circuito emocional ayudará al agente a elegir de manera más óptima.

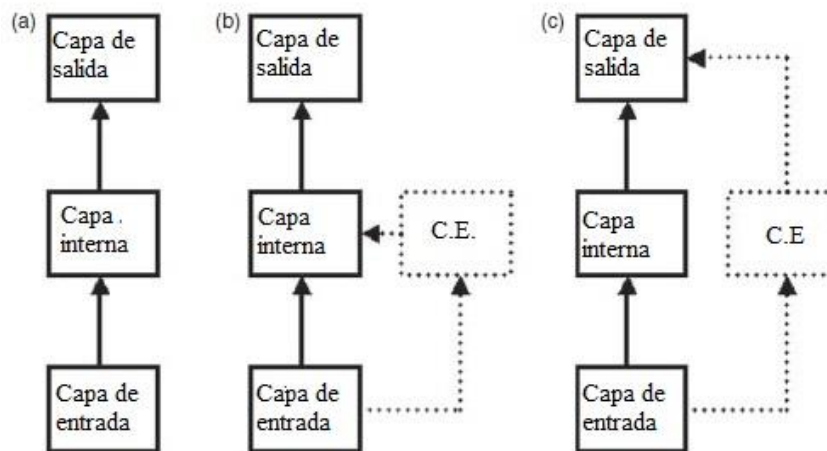


Figura 14. Arquitectura de la red neural para robots sin circuito emocional (a) y para robots con circuito emocional ligado a unidades internas (b) o ligado las unidades motoras (c).

La eficacia de las arquitecturas fue comparada en relación con el estado la salud de los robots. Estos autores encontraron que el estado de salud de los robots con un circuito emocional era mejor que los robots que no tenían este circuito. No obstante, es importante aclarar que la eficacia de las diferentes arquitecturas dependía de la motivación que estos robots tenían que satisfacer. Por ejemplo, los robots con circuito emocional conectado a las unidades motoras fueron mejores en tareas que implicaban un estímulo externo: comida o escapar de un depredador, comida o encontrar un compañero para reproducirse, comida o cuidar su descendencia. Por el contrario, las arquitecturas con el circuito emocional conec-

tado a las unidades internas fueron mejores en satisfacer tareas que implicaban un estímulo interno como buscar comida o agua, comida o descansar. Un ejemplo de la efectividad del circuito emocional se puede analizar en *la prueba de escape* ante la presencia de un depredador (figura 15). Esta prueba se realizó con el propósito de comparar la velocidad, entre robots con y sin circuito emocional, ante una amenaza.

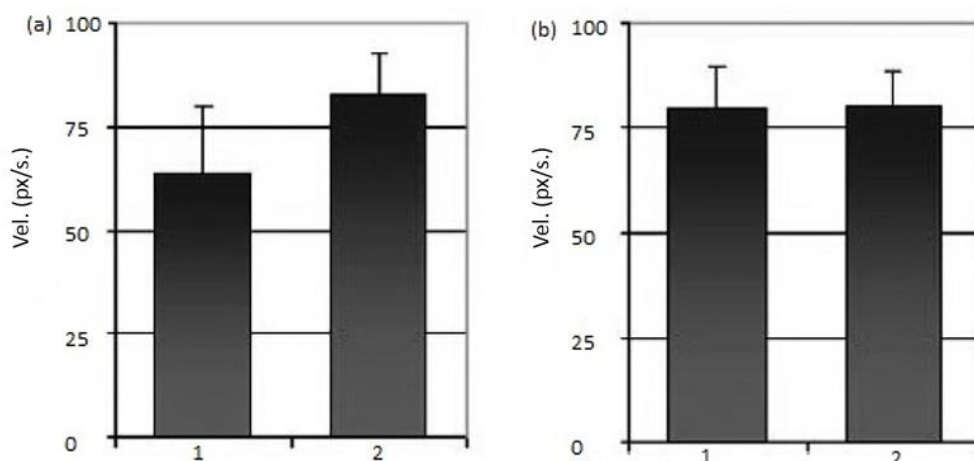


Figura 15. Prueba de escape. (a) Velocidad de los robots con circuito emocional en un ambiente sin depredador (1) y en un ambiente con la presencia de un depredador (2). (b) las mismas condiciones que (a) para robots sin circuito emocional. Adaptado de Parisi, 2010, p. 463.

Se puede observar que los robots con un circuito emocional integrado muestran diferentes conductas, en relación con la presencia o no de un depredador. En contraste, los robots que no tienen este circuito exponen la misma velocidad sin que la presencia del depredador sea un factor importante. No obstante, lo que más destaca en esta investigación es, precisamente, que se estudiaron cuatro componentes emotivos de la base biológica de las emociones: *regulación metabólica*, *comportamientos de dolor y placer*, *motivaciones* y *emociones*.

Una Clasificación

Como se mencionó en el capítulo tres, la mayoría de las investigaciones en Robótica Cognitiva han estado centradas en analizar las características externas (Robótica Externa) y no lo que ocurre en el interior del agente (Robótica Interna). Por esta razón, en lo que sigue se mostrará una selección que fue realizada con el propósito de exponer los componentes

emotivos que han sido estudiados y modelados por los robóticos cognitivos. La relevancia de este ejercicio es, justamente, aportar una herramienta cualitativa en la que se encuentran algunas de las principales investigaciones —en las que se analizan y examinan las características internas— en el estudio y comprensión del vínculo Robótica Cognitiva y Emociones.

Selección de artículos

La selección de los trabajos fue realizada a través de tres bibliotecas digitales, un buscador y se emplearon diferentes palabras clave (Tabla 2). En cada búsqueda se utilizó una palabra clave a la vez. Por ejemplo, en la biblioteca *Xplore Digital Library*, primero fue sometida la palabra *Autonomus Agent* seguida de *Robot Emotions* y así hasta terminar la lista de palabras.

Tabla 2. *Bibliotecas, buscadores y palabras clave*

| Biblioteca Digital/Buscador | Palabras clave |
|------------------------------------|--|
| Xplore Digital Library (IEEE) | Autonomus agent, Robot Emotions, Artificial Emotions, Synthetic emotion, Internal robotics |
| Emotion-research.net (aaai) | Autonomus agent, Robot Emotions, Artificial Emotions, Synthetic emotion, Internal robotics |
| Biblioteca UNAM | Autonomus agent, Robot Emotions, Artificial Emotions, Synthetic emotion, Internal robotics |
| Google Scholar | Autonomus agent, Robot Emotions, Artificial Emotions, Synthetic emotion, Internal robotics |

Después de realizar la búsqueda, fueron seleccionadas 42 investigaciones y se dividieron en dos categorías (Tabla 3).

Tabla 3. *Categorías*

| Artículos Teóricos | Implementaciones |
|--------------------|------------------|
| 27 | 15 |

Todas las implementaciones (Schneider & Adamy, 2014; Salichs & Malfaz, 2012; Parisi & Petrosino, 2010; Lee-Johnson & Carnegie, 2010; Kusano et al., 2008; Lee-Johnson et al., 2007; Coutinho et al., 2005; Goerke, Henne & Müller, 2004; Gadanho, 2003; Gadanho & Hallam, 2001; Maeda, 1999; Cañamero, 1997; Ho, 1997; Mochida et al. & Uchikawa, 1995; Dorner & Hille, 1995) fueron analizadas y se clasificaron los diferentes componentes emotivos que fueron modelados (Tabla 4). Las cuatro categorías que se exponen en la tabla están basadas en la iconografía propuesta por Damasio (2005).

Para *Regulación metabólica* fueron consideradas todas las investigaciones en las que el modelo implementado incluía información del estado interno del agente. Para *Comportamientos de dolor y placer* se seleccionaron las investigaciones en las que los agentes artificiales mostraban conductas de acercamiento o retirada. Para *Motivaciones* se eligieron aquellos trabajos en los que los agentes artificiales tuvieron que satisfacer alguna necesidad como escapar de un depredador o comer. Para *Emociones* se condensaron todos los trabajos que en su modelo explicativo describieron un conjunto de emociones para categorizar la conducta de sus agentes.

Tabla 4. *Investigaciones en Robótica Cognitiva y los diferentes componentes emotivos que han sido estudiados.*

| <i>Nombre del artículo</i> | <i>Regulación metabólica</i> | <i>Comportamientos de dolor y placer</i> | <i>Motivaciones</i> | <i>Emociones</i> |
|--|------------------------------|--|---------------------|------------------|
| Towards Modelling Affect and Emotions in Autonomous Agents with Recurrent Fuzzy Systems (Schneider, 2014) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| A New Approach to Modeling Emotions and Their Use on a Decision-Making System for Artificial Agents (Salichs, 2012) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Robots that have Emotions (Parisi, 2010) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mobile Robot Navigation Modulated by Artificial Emotions (Lee-Johnson, 2010) | | ✓ | | ✓ |
| Emergence of Burden Sharing by Robots Equipped with an Emotional Model (Kusano, 2008) | | ✓ | | |
| Emotion-based Parameter Modulation for a Hierarchical Mobile Robot Planning and Control Architecture (Lee-Johnson, 2007) | | ✓ | | ✓ |
| Towards a Model for embodied Emotions (Coutinho, 2005) | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Neural networks for the EMOBOT robot control architecture (Goerke, 2004) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Learning Behavior-Selection by Emotions and Cognition in a Multi-Goal Robot Task (Gadanhó, 2003) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Robot Learning Driven by Emotions (Gadanhó, 2001) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Emotional generation model for Autonomous mobile robot (Maeda, 1999) | | ✓ | | ✓ |
| Modeling motivations and emotions as a basis for intelligent behavior (Cañamero, 1997) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| A Model of Fuzzy Emotion and Behaviour Selection for an Autonomous Mobile Robot (Ho, 1997) | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Behavior Arbitration for Autonomous Mobile Robots (Mochida, 1995) | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Artificial Souls: Motivated Emotional Robots (Dorner, 1995) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

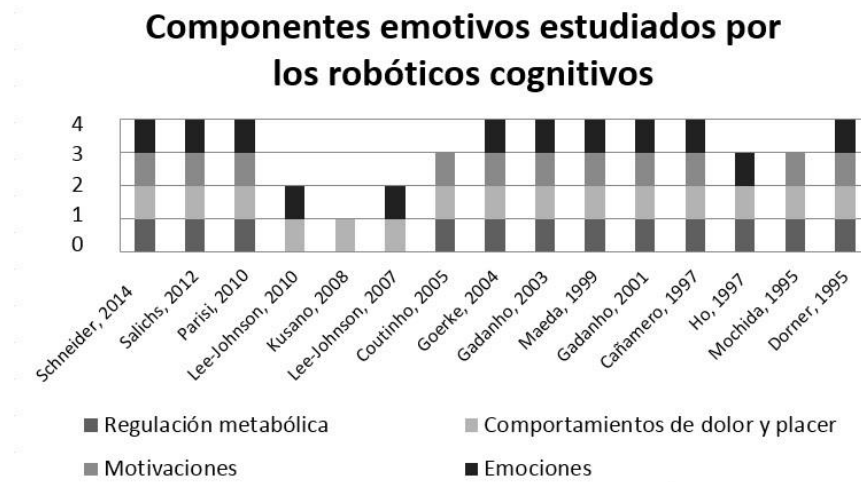


Figura 16. Componentes emotivos estudiados por los robóticos cognitivos.

En la figura 16 se pueden analizar cada una de las 15 implementaciones seleccionadas y los diferentes componentes emotivos que fueron modelados. Se puede observar que en 12 investigaciones se consideraron importantes factores relacionados con estados internos del agente —regulación metabólica. En los 15 trabajos clasificados se pueden examinar comportamientos de dolor y placer. En 11 estudios se incluyeron motivaciones y 12 investigaciones incluyeron emociones en su modelo. Solamente, en 8 implementaciones se incluyeron todos los componentes de la base biológica de las emociones.

Capítulo cinco

Conclusiones

Para finalizar este trabajo se responderá la pregunta de investigación que fue expuesta al inicio de éste, *¿cuál es la importancia del estudio de sistemas emocionales artificiales en Robótica Cognitiva?* Además, se explicarán las implicaciones que tiene el análisis de éstos, en general, para las Ciencias Cognitivas y, en particular, para la Robótica Cognitiva.

Con el objetivo de esclarecer la importancia del modelado y la implementación de sistemas emocionales artificiales, por un lado, se expuso el vínculo entre emociones y cognición en organismos biológicos. Los supuestos de Damasio (2010, 2006, 2005, 1994) enfatizaron en la importancia de los diferentes componentes emotivos como un rasgo esencial de las emociones. Además, se expusieron las principales áreas cerebrales relacionadas con el procesamiento emocional. Como se mostró, existe una fuerte relación entre las emociones, la conducta y los procesos cognitivos. Por otro lado, se esclareció que, en su afán por imitar el funcionamiento de la cognición, las primeras investigaciones en Inteligencia Artificial estuvieron enfocadas en estudiar procesos cognitivos de alto nivel como jugar ajedrez. Se revisó que este enfoque fue sometido a diferentes críticas (Harnad, 1990; Dennet, 1984; Searle, 1980). Con el propósito de superarlas fue que surgió la Robótica Cognitiva. Recientemente, con la finalidad de incrementar la capacidad de los agentes artificiales para interactuar de forma autónoma y coherente con el mundo, los robóticos cognitivos retoman la importancia de incluir sistemas emocionales artificiales en sus modelos. Como señaló Kelley (2005), es necesario integrar sistemas emocionales artificiales que simulen la función de los sistemas emocionales biológicos. Si éstos son vitales para la supervivencia de los seres vivos, entonces, un robot construido para interactuar en el mundo, necesitaría un mecanismo similar que le ayude a relacionarse y sobrevivir en éste. Por ejemplo, los mecanismos biológicos que subyacen al miedo son esenciales para huir de un peligro inminente. En el caso del robot, éste necesitaría de un sistema similar que le permita evitar la situación y/u objeto que atente contra su supervivencia.

Se presentaron cuatro ejemplos de implementaciones en los que la conducta de los robots fue guiada por diferentes componentes emotivos. Asimismo, se realizó una clasifica-

ción en la que se dilucidaron los componentes emotivos que han sido implementados en Robótica Cognitiva. Incluir estos componentes, en agentes artificiales, posibilita estudiar aspectos que regularmente no son incluidos para explicar los procesos cognitivos. La razón de lo anterior es que generalmente, éstos son relacionados con razonamiento, conocimiento, acción, toma de decisiones y se ignoran otros aspectos con los que un organismo interactúa: motivaciones, estados emocionales, entre otros (Parisi, 2011).

Una de las principales consecuencias teóricas que se siguen del modelado e implementación de sistemas emocionales en agentes artificiales, es respecto a la comprensión y el uso del concepto *corporizado* tanto en Ciencias Cognitivas como en Robótica Cognitiva. Como se explicó, en Robótica Cognitiva se estudia al cuerpo —con el enfoque de la cognición corporizada— a partir del estudio de los esquemas sensoriomotrices y su interacción con el ambiente. Sin embargo, algunos autores consideran esencial —además de la interacción— un cuerpo orgánico para poder dilucidar los procesos cognitivos con el enfoque de la Cognición Corporizada (Ziemke, 2016). Esta discusión apunta, precisamente, a la ausencia de los mecanismos de autorregulación y/o a la falta de los diferentes componentes emotivos en el área de la Robótica Cognitiva. No obstante, como se mostró los robóticos cognitivos están modelando e implementando estos mecanismos y/o componentes para optimizar la conducta de sus agentes artificiales. ¿Será que el modelado e implementación de éstos posibilite un replanteamiento de lo que significa corporizado? Aún es muy pronto para responder satisfactoriamente a esta interrogante. Sin embargo, se puede afirmar que las nuevas tendencias en Robótica Cognitiva, definitivamente, complementarán y ayudarán a la construcción de agentes artificiales cada vez más corporizados.

Referencias

- Adolphs, R., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. (1994). Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala. *Nature*, 372(6507), 669-672.
- Álvarez, M., Galán, R., Matía, F., Rodríguez-Losada, D., & Jiménez, A. (2010). An emotional model for a guide robot. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS PART A SYSTEMS AND humans*", 40(5), 982.
- Arbib, M. A., & Fellous, J. M. (2004). Emotions: from brain to robot. *Trends in cognitive sciences*, 8(12), 554-561.
- Asada, M., Hosoda, K., Kuniyoshi, Y., Ishiguro, H., Inui, T., Yoshikawa, Y. & Yoshida, C. (2009). Cognitive developmental robotics: a survey. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 1(1), 12-34.
- Armony, J., & Vuilleumier, P. (Eds.). (2013). *The Cambridge handbook of human affective neuroscience*. Cambridge University Press.
- Barandiaran, X., & Moreno, A. (2006). On what makes certain dynamical systems cognitive: A minimally cognitive organization program. *Adaptive Behavior*, 14(2), 171-185.
- Boden, M. (2014). "GOFAI" en Frankish, K., & Ramsey, W. M. (Eds.). (2014). *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence*. Cambridge University Press.
- Brooks, R. A. (1990). Elephants don't play chess. *Robotics and autonomous systems*, 6(1), 3-15.
- Campbell, M., Hoane, A. J., & Hsu, F. H. (2002). Deep blue. *Artificial intelligence*, 134(1), 57-83.
- Cañamero, D. (1997, February). Modeling motivations and emotions as a basis for intelligent behavior. In *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents* (pp. 148-155). ACM.
- Calhoun, C., Solomon R. (Comp.), (1996), *¿Qué es una emoción? Lecturas clásicas de psicología filosófica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Chung, T. H., Hollinger, G. A., & Isler, V. (2011). Search and pursuit-evasion in mobile robotics. *Autonomous robots*, 31(4), 299-316.
- Cañamero, L. (2003). Designing emotions for activity selection in autonomous agents. *Emotions in humans and artifacts*, 115, 148.

- Clark, A. (1999). *Estar ahí: Cerebro, cuerpo y mundo en la nueva ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Copeland, J. (1996). *Inteligencia artificial: una introducción filosófica*. Madrid: Editorial Alianza.
- Coutinho, E., Miranda, E. R., y Cangelosi, A. (2005). Towards a model for embodied emotions. In *Artificial intelligence, 2005. epia 2005. portuguese conference on* (pp. 54-63).
- Dalgleish, T., Dunn, B. D., & Mobbs, D. (2009). Affective neuroscience: Past, present, and future. *Emotion Review*, 1(4), 355-368.
- Dalgleish, R. (2004). The emotional Brain. *Nature reviews. Neuroscience*, 5, pp. 582-589.
- Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre*. Barcelona: Ediciones Destino.
- Damasio, A. (2006). *En busca de Spinoza. Neurobiología de la emoción y los sentimientos*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Damasio, A. (2005). *Sentir lo que sucede. Cuerpo y emoción en la fábrica de la consciencia*. Barcelona: Editorial Debate.
- Damasio, A. R. (1994). *El error de Descartes: la razón de las emociones*. Andrés Bello.
- Damasio, H, T. Grabowski, R. Frank, A.M. Galaburda, y A.R. Damasio. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the Brain From the skull of a famous patient. *Science*, 264, pp. 1102-1105.
- Darwin, C. (1998/1872). *La expresión de las emociones en los animales y en el hombre*. Alianza editorial.
- Dautenhahn, K., & Werry, I. (2004). Towards interactive robots in autism therapy: Background, motivation and challenges. *Pragmatics & Cognition*, 12(1), 1-35.
- De Freitas, J. S., & Queiroz, J. (2007, September). Artificial emotions: are we ready for them? In *European Conference on Artificial Life* (pp. 223-232). Springer Berlin Heidelberg.
- Dennett, D. C. (1984). Cognitive wheels: The frame problem of AI.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 298(5596), 1191-1194.
- Dorner, D., & Hille, K. (1995, October). Artificial souls: Motivated emotional robots. In *Systems, Man and Cybernetics, 1995. Intelligent Systems for the 21st Century. IEEE International Conference on* (Vol. 4, pp. 3828-3832). IEEE.
- Ekman, P., Sorenson, E. R., & Friesen, W. V. (1969). Pan-cultural elements in facial displays of emotion. *Science*, 164(3875), 86-88.

- Ferrucci, D., Levas, A., Bagchi, S., Gondek, D., & Mueller, E. T. (2013). Watson: beyond jeopardy! *Artificial Intelligence*, 199, 93-105.
- Gadanhó, S. C. (2003). Learning behavior-selection by emotions and cognition in a multi-goal robot task. *Journal of Machine Learning Research*, 4(Jul), 385-412.
- Gadanhó, S. C., & Hallam, J. (2001). Robot learning driven by emotions. *Adaptive Behavior*, 9(1), 42-64.
- Goerke, N., Henne, T., & Müller, J. (2004). Neural networks for the EMOBOT robot control architecture. *Neural Computing & Applications*, 13(4), 299-308.
- Ho, K. H. (1997). A model of fuzzy emotion and behaviour selection for an autonomous mobile robot. In *Robot and Human Communication, 1997. RO-MAN'97. Proceedings, 6th IEEE International Workshop on* (pp. 332-337). IEEE.
- Kelley, A. E. (2005). Neurochemical networks encoding emotion and motivation. *Who needs emotions?*
- Fellous, J. M. (2004). From human emotions to robot emotions. *Architectures for Modeling Emotion: Cross-Disciplinary Foundations, American Association for Artificial Intelligence*, 39-46.
- Fleming, K. A., Peters, R. A., & Bodenheimer, R. E. (2006, October). Image mapping and visual attention on a sensory ego-sphere. In *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 241-246). IEEE.
- Fong, T., Nourbakhsh, I., & Dautenhahn, K. (2002). A Survey of Socially Interactive Robots: Concepts. *Design, and Applications*, 10, 16-17.
- Frazzeto, G. (2014). *Cómo sentimos. Sobre lo que la neurociencia puede y no puede decirnos acerca de nuestras emociones*. Barcelona: Editorial Anagrama.
- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 42(1-3), 335-346.
- Harlow, J. (1868). Recovery of the passage of an iron bar through the head. *Bulletin of the Massachusetts Medical Society*, 2, pp. 274-281.
- Hillenbrand, U., Brunner, B., Borst, C., & Hirzinger, G. (2004, March). The robotler: a vision-controlled hand-arm system for manipulating bottles and glasses. In *35th International Symposium on Robotics*.
- James, W. (1884). II.—What is an emotion? *Mind*, (34), 188-205.

- Jha, S., Patel, R. (2004). Klüver-Bucy syndrome-An experience with six cases. *Neurology India*, 52(3), 369.
- Kanamori, M., Suzuki, M., & Tanaka, M. (2002). [Maintenance and improvement of quality of life among elderly patients using a pet-type robot]. *Nihon Ronen Igakkai zasshi. Japanese journal of geriatrics*, 39(2), 214-218.
- Karahoca, D., Karahoca, A., & Uzunboylub, H. (2011). Robotics teaching in primary school education by project based learning for supporting science and technology courses. *Procedia Computer Science*, 3, 1425-1431.
- Kleinginna Jr, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and emotion*, 5(4), 345-379.
- Klüver, H. y Bucy, P. C. (1937). Psychic blindness and other symptoms following bilateral temporal lobectomy. *Am. J. Physiol* 119, pp. 254–284.
- Kowalczyk, Z., & Czubenko, M. (2016). Computational Approaches to Modeling Artificial Emotion—An Overview of the Proposed Solutions. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 21.
- Kusano, T., Nozawa, A., & Ide, H. (2008). Emergence of burden sharing by robots equipped with an emotional model. *Electronics and Communications in Japan*, 91(1), 52-58.
- Lee-Johnson, C. P., & Carnegie, D. A. (2010). Mobile robot navigation modulated by artificial emotions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 40(2), 469-480.
- Lee-Johnson, C. P., & Carnegie, D. A. (2007, October). Emotion-based parameter modulation for a hierarchical mobile robot planning and control architecture. In *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 2839-2844). IEEE.
- Lungarella, M., Metta, G., Pfeifer, R., & Sandini, G. (2003). Developmental robotics: a survey. *Connection Science*, 15(4), 151-190.
- LeDoux, J. (2012). Rethinking the emotional brain. *Neuron*, 73(4), 653-676.
- LeDoux, J. (1999). *El cerebro emocional*. Barcelona: Editorial Planeta.
- Lindquist, K. A., Wager, T. D., Kober, H., Bliss-Moreau, E., y Barrett, L. F. (2012). The brain basis of emotion: a meta-analytic review. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(03), pp. 121-143.
- MacLean, P. D. (1949). Psychosomatic Disease and the "Visceral Brain": Recent Developments Bearing on the Papez Theory of Emotion. *Psychosomatic medicine*, 11(6), 338-353.

- Maeda, Y. (1999). Emotional generation model for autonomous mobile robot. *KANSEI Engineering International*, 1(1), 59-66.
- Malfaz, M., & Salichs, M. A. (2004). A new architecture for autonomous robots based on emotions. In *Fifth IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. New Science Library/Shambhala Publications.
- McEwen, B. S. (2004). Protective and damaging effects of the mediators of stress and adaptation: Allostasis and allostatic load. Allostasis, homeostasis, and the costs of physiological adaptation, 65-98.
- Minsky, M. (1988). *Society of mind*. Simon and Schuster.
- Mochida, T., Ishiguro, A., Aoki, T., & Uchikawa, Y. (1995, August). Behavior arbitration for autonomous mobile robots using emotion mechanisms. In *Intelligent Robots and Systems 95. 'Human Robot Interaction and Cooperative Robots', Proceedings. 1995 IEEE/RSJ International Conference on* (Vol. 3, pp. 516-521). IEEE.
- Moreno, A., Etxeberria, A., & Umerez, J. (2008). The autonomy of biological individuals and artificial models. *BioSystems*, 91(2), 309-319.
- Newell, A., Shaw, J. C., & Simon, H. A. (1958). Chess-playing programs and the problem of complexity. *IBM Journal of Research and Development*, 2(4), 320-335.
- Newman, J. D., & Harris, J. C. (2009). The scientific contributions of Paul D. MacLean (1913–2007). *The Journal of nervous and mental disease*, 197(1), 3-5.
- Ortony, A., Norman, D. A., & Revelle, W. (2005). Affect and proto-affect in effective functioning. *Who needs emotions?* pp. 173-202.
- Oztop, E., Kawato, M., & Arbib, M. (2006). Mirror neurons and imitation: A computationally guided review. *Neural Networks*, 19(3), 254-271.
- Pachman, L., Kühnmund, V. I., & Bravo, J. A. (1982). *Ajedrez y computadoras*. Martínez Roca.
- Parisi, D. (2011). The other half of the embodied mind. *Embodied and grounded cognition*.
- Parisi, D., & Petrosino, G. (2010). Robots that have emotions. *Adaptive Behavior*, 18(6), 453-469.
- Parisi, D. (2004). Internal robotics. *Connection science*, 16(4), 325-338.
- Pfeifer, R., & Scheier, C. (1999). *Understanding intelligence*. MIT press.
- Purves, D. A., Fitzpatrick, G. J., Hall, D., Lamantia, W. C., Mcnamara, A. S., & Williams, J. O. (2008). *Neurociencia* (No. 577.25 NEU).

- Ramachandran, V.S, Blakeslee, S. (1999) *Fantasmas en el cerebro*. Madrid: Editorial Debate.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131-141.
- Ruini, F., Petrosino, G., Saglimbeni, F., & Parisi, D. (2010). The strategic level and the tactical level of behaviour. *Advances in cognitive systems*, 271-299.
- Salichs, M. A., & Malfaz, M. (2012). A new approach to modeling emotions and their use on a decision-making system for artificial agents. *IEEE Transactions on affective computing*, 3(1), 56-68.
- Schneider, M., & Adamy, J. (2014, October). Towards modelling affect and emotions in autonomous agents with recurrent fuzzy systems. In *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 31-38). IEEE.
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and brain sciences*, 3 (03), 417-424.
- Stoytchev, A. (2005, March). Toward learning the binding affordances of objects: A behavior-grounded approach. In *Proceedings of AAAI symposium on developmental robotics* (pp. 17-22).
- Tenorth, M., & Beetz, M. (2013). KnowRob: A knowledge processing infrastructure for cognition-enabled robots. *The International Journal of Robotics Research*, 32(5), 566-590.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433-460.
- Varela, F. J., Rosch, E., & Thompson, E. (1992). *De cuerpo presente: las ciencias cognitivas y la experiencia humana*. Editorial: Gedisa.
- Webb, B. (2000). What does robotics offer animal behaviour? *Animal behaviour*, 60(5), 545-558.
- Wolpert, D. M. (2007). Probabilistic models in human sensorimotor control. Human movement, *Science*, 26(4), 511-524.
- Ziemke, T. (2016). The Body of Knowledge: On the role of the living body in grounding embodied cognition, *Biosystems*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2016.08.005>
- Ziemke, T. (2008). On the role of emotion in biological and robotic autonomy. *BioSystems*, 91(2), 401-408.
- Zlatev, J. (2001). The epigenesis of meaning in human beings, and possibly in robots. *Minds and Machines*, 11(2), 155-195.