

En marzo de 2016, AlphaGo, un sofisticado sistema de cómputo construido a partir de redes neuronales computacionales, derrotó al campeón mundial de *go*, un complejo juego oriental de estrategia. La dificultad de este juego deriva no tanto de las reglas, sino del número de posibles movimientos en cada jugada. *Go* cuenta con muchos más movimientos posibles que el ajedrez, lo que hace imposible, para todo fin práctico, explorar el espacio de posibles movimientos con anticipación a fin de planear la ruta para obtener el triunfo. El inmenso tamaño de este espacio y el hecho de que los campeones humanos resultaran imbatibles en diversos enfrentamientos ante sistemas de cómputo hasta antes de ese día proveyó a los escépticos de la inteligencia *in silico* (preferiremos este término o el de inteligencia computacional en lugar del más común de inteligencia artificial) un muro dónde protegerse del avance que ésta había mostrado en los años previos.

Si bien las redes neuronales computacionales habían resultado relativamente aptas para ciertas tareas más bien aburridas, como distinguir perros de gatos en una fotografía, o habían re-

sultado superiores a los humanos en tareas muy específicas, hasta entonces no habían llegado al punto de vencer al campeón mundial, humano, de un juego en el que se requiere una gran capacidad de análisis, una delicada toma de decisiones, en suma, todo lo que representa la maravilla del intelecto humano. AlphaGo había alcanzado el nivel de maestría enfrentándose a otros humanos, pero también jugando contra ella misma y, el colmo del asunto, había sido capaz de aprender la estrategia por ella misma.

Con todo y el gran mérito de haber enfrentado y derrotado al campeón humano, AlphaGo no dio muestras de júbilo, ni hizo saber a los medios que todo se lo debía a su mánager. Si acaso, sus diseñadores habrán festejado en privado (la partida se llevó a cabo en secreto) y Ke Jie, el campeón humano de *go*, habrá mascullado su ira o lamentado en silencio su derrota, embargado por la tristeza. No obstante, si dichas redes son modelos que intentan recrear ciertas capacidades que consideramos inteligentes, ni las más sofisticadas, como AlphaGo, suelen mostrar emociones al concretar con éxito las tareas que les fueron asignadas. Surgen entonces

algunas preguntas: ¿son las emociones requisito indispensable para lograr determinadas tareas o entender el mundo bajo ciertos criterios?, ¿qué son las emociones?, ¿emergen como alguna propiedad de los componentes de los sistemas nerviosos?, ¿podrían las redes neuronales computacionales algún día emocionarse?

En el sistema nervioso, no en el corazón

La inteligencia es una propiedad de los sistemas adaptables y excitables. Aunque no existe una definición única de inteligencia y el debate entre sus estudiosos suele ser acalorado y no carente de sesgos, se considera que la inteligencia es un conjunto de propiedades de un sistema que no se encuentran en sus componentes por separado. Entre otras, la capacidad de aprender es un indicativo de inteligencia y, en general, los componentes de un sistema con esta propiedad no son capaces de hacerlo por separado o no en la misma medida. Un humano puede lograr mucho, pero un colectivo de individuos dados a la tarea de resolver un problema en común logrará aprender, proponer formas novedosas y será capaz de

Redes neuronales y emociones

José Antonio Neme Castillo

retroalimentarse. El colectivo, en el que interactúan componentes, tiene mayor capacidad que los componentes por separado.

Regresemos a la primera de las dos propiedades que definen a los sistemas que muestran inteligencia. Un sistema adaptable es aquel que cuenta con parámetros que pueden variar ya sea por medio de la experiencia o por modificaciones internas. La variación de tales parámetros permite que el sistema adecúe su comportamiento, esto es, que aprenda. Un sistema excitable es aquel que puede cambiar de estado en función del ambiente o de una conjunción del ambiente y sus estados previos. Si un sistema exhibe ambas propiedades, será entonces capaz de aprender bajo ciertas condiciones —los cuales escapan a los alcances de este texto. Baste por el momento afirmar que los sistemas nerviosos caen perfectamente dentro de tal definición de adaptabilidad y capacidad de excitación.

El sistema nervioso de cualquier organismo —dejando de lado el sistema vascular o inmunológico que le da sustento— puede simplificarse como una peculiar red de células que poseen la capacidad de procesar estímulos, co-



municarlos a otras células, incrementar la preponderancia de contacto y la comunicación con otras células semejantes, excitarse y otras más. Las propiedades de dicha red están lejos de ser conocidas con todo detalle, pero sí algunos de sus rasgos generales.

Los cerebros, que es otra forma de llamar a los sistemas nerviosos, codifican el mundo que el organismo percibe. Esta percepción incluye ideas, predicciones, conceptos, métodos, recuerdos y un largo etcétera. La codificación se da en la medida en que se altera la comunicación entre neuronas. Una neurona es una célula nerviosa y, aunque existen diferentes tipos de ellas en el cerebro humano, el comportamiento general es semejante. Una neurona recibe estímulos del ambiente o de otras neuronas; cuando el estímulo total recibido por una neurona en estado latente o de reposo excede cierto umbral cambiará de estado, pasará a uno activo o



excitado (para una visión más detallada del comportamiento de una neurona ver el libro de Erik Kandel y colaboradores). El estímulo que una neurona recibe de otra puede ser ponderado, esto es, afectado por procesos sinápticos que funcionan como una especie de atenuadores o amplificadores químicos de la señal enviada por la primera neurona (una neurona puede comunicarse con otra a través de señales químicas y eléctricas). El conocimiento del mundo se codifica mediante las sinapsis entre neuronas y, de forma equivalente, en la creación de nuevas conexiones o sinapsis entre neuronas.

Así, como resultado del trabajo constante tanto del estudiante como de la maestra, por ejemplo, un individuo es capaz de entender el concepto de “suma”. Cuando aprendemos a sumar, este conocimiento se codifica de forma distribuida en el cerebro y, en particular, en una región relativamente reciente: la corteza cerebral. La codificación pasa por un cambio en la intensidad con la que ciertas neuronas se comunican. El aprendizaje en el cerebro se da mediante la asimilación del concepto o tarea que buscamos aprender por medio de un proceso de entrenamiento que requiere constancia y una ince-

sante modificación de los pesos sinápticos. Fuera de esto, sólo en la ficción científica se han propuesto rutas más directas para el aprendizaje, como en la hermosa novela *Congreso de Futurología* de Stanislaw Lem —autor polaco injustamente poco conocido en México—, en donde si un sujeto desea hacerse experto en, por ejemplo, álgebra, ingiere una dosis de “algebrina”, y el fármaco crea los pesos sinápticos necesarios para codificar los conceptos del álgebra, las reglas de manipulación de símbolos y las abstracciones necesarias; así, quien la ingiere se vuelve, vía una manipulación inmediata de sinapsis, experto en álgebra sin tener que pasar por el largo camino del aprendizaje.

El papel de las emociones

Las emociones suelen verse como respuestas instintivas y primitivas ante ciertos estímulos, ya sea externos o evocados internamente como recuerdos. Solemos sentir miedo, ira, tristeza, alegría o, dependiendo de la corriente filosófica a la que adherimos, pueden agregarse o eliminarse otras emociones. Una de las más antiguas definiciones al respecto que se conocen es la atribuida a Aristóteles, quien afirmaba



que: "la emoción es aquello que nos conduce a transformarnos de tal forma que nuestro juicio se ve afectado, y que va acompañado de placer y dolor". De ahí que las emociones suelen pensarse como estados del cerebro que hay que mantener a raya o eliminar por completo a fin de dotar de objetividad a nuestras acciones y de racionalidad a las decisiones, por lo que en las abstracciones que hacemos cotidianamente se sugiere evitar a toda costa que las emociones se cuele en el proceso. El razonamiento lógico, pues, debe mantenerse alejado de las emociones, según la tradición en ciencia.

El sustrato químico de las emociones se asocia con ciertos neurotransmisores y neuromoduladores, moléculas que afectan la comunicación entre neuronas. En la fisiología del cerebro, las emociones, de acuerdo con numerosos experimentos, se procesan en áreas más o menos profundas y, por ello, antiguas en la historia de la vida. Una de éstas áreas es la amígdala que, se sabe, es un órgano primitivo pues está presente, con variaciones, en muchos otros organismos además del humano.

Cuando presenciamos una situación conmovedora, generalmente nos conmovemos. No sólo somos capaces de reconocer si alguien sufre o se encuentra alegre, somos capaces de cambiar nuestras emociones y sentir, de alguna manera, por lo que alguien más parece estar experimentando. Es a lo que David Hume, en 1739, se refería como la transmisión de las emociones.

No es del todo clara la razón de la existencia de las emociones, como tampoco lo es el hecho de que los humanos contamos únicamente con un corazón y con dos ojos, no siete. Preguntarse por la razón de la existencia de las emociones es una interrogante tal vez mal planteada. Menos pretencioso y acaso

susceptible de ser verificado sería preguntar: ¿qué ocurriría si no tuviésemos la capacidad de percibir emociones?

Antonio Damasio, uno de los pioneros en preguntarse por la relevancia de las emociones desde el ámbito científico, reporta el caso de una de sus pacientes: S. M. la llama en su reporte, quien es incapaz de detectar mediante la vista las emociones negativas en los demás, esto es, no sabía si su interlocutor se encontraba enojado o tenía miedo. La paciente era perfectamente capaz de reconocer rostros familiares y llevaba una vida relativamente normal, salvo por sufrir ataques de epilepsia, causa por la que fue a dar al hospital en primera instancia. Después de diversos estudios de imagenología médica, se detectó un daño severo en la amígdala, un órgano en el cerebro que, se sabe ahora, interviene en procesos de la conducta y reacciones automáticas y se asocia íntimamente con las emociones. La paciente era pues incapaz de reconocer emociones pero el resto de sus capacidades intelectuales no se veía afectada, es decir, se le dio a las emociones el rango de capacidad intelectual.

Otras preguntas que involucran las emociones y los procesos intelectuales han sido formuladas por Cahill y sus colaboradores, que en un estudio reportado en 1996 se preguntaron qué tanto varía nuestra capacidad para recordar si el evento que evocamos estuvo rodeado de emociones en comparación con eventos en los que no hubo emociones de por medio. Un grupo de ocho voluntarios presencié doce videos cortos con fuerte componente emocional, en tanto que otro grupo de individuos de control vio igual número de videos pero con componente emocional neutro. Los investigadores, controlando variables no relevantes para el estudio, tres



semanas después de la exhibición de los cortometrajes preguntaron a los dos grupos de individuos detalles sobre éstos. El número de videos recordados por el que observó aquellos con componente emocional fue significativamente mayor al recordado por los que presenciaron los neutros. Tales resultados sugieren que el componente emocional crea recuerdos más estables, esto es, forma una memoria de largo alcance en contraposición a recuerdos codificados en memorias de corto alcance.

Usar el cerebro es energéticamente caro. Procesar la cantidad de información del día a día requiere muchos recursos. Se estima que el cerebro consume un cuarto del total de suministro de glucosa en un adulto sano y, en su interior, el sistema visual requiere la mitad de la energía. Algunos investigadores han planteado hipótesis de la importancia de las emociones en el filtrado de eventos relevantes, esto es, si

un evento es emocionalmente significativo requerirá entonces toda la atención posible, con el consecuente incremento energético.

Las redes neuronales computacionales

La inteligencia *in silico* o computacional intenta dotar a la computadora de actitudes que reflejen lo que comúnmente identificamos con la inteligencia. Hay muchas formas de hacer esto. Pedro Domingos expone en su interesante libro *The Master algorithm* cinco enfoques para dotar de inteligencia a la computadora; el conexionista, que es el que nos atañe aquí, intenta recrear el sustrato biológico de los ejemplos de inteligencia que conocemos a fin de lograr inteligencia, esto es, que todos los organismos inteligentes que conocemos tienen algunas cosas en común. Una de ellas es la presencia de un sistema nervioso constituido por redes de

neuronas. El segundo enfoque hace énfasis en la lógica y la manipulación de símbolos y por mucho tiempo fue el favorecido por los estudiosos de la inteligencia *in silico*.

Las redes neuronales computacionales, un conjunto de elementos simples —las neuronas— que se comunican entre sí, intentan recrear ciertas propiedades de los sistemas nerviosos —los cerebros— en la computadora. Sin embargo, dicha comunicación de las sinapsis en las neuronas biológicas, conocida simplemente como "pesos", se ve afectada por la contraparte *in silico*. Lo que sea que una red aprende lo codifica en los pesos. Hay muchas formas de entrenar a una red, esto es, de afinar o ajustar los parámetros libres (los pesos) a fin de que una tarea se haga con un error arbitrariamente pequeño. Las redes pueden formar estructuras con muchas capas o con una sola capa y retroalimentarse de maneras no triviales.

En síntesis, estas redes son algo que en el medio se conoce como un aproximador universal de funciones. Si lo que deseamos que una ésta aprenda, por ejemplo, a distinguir perros de gatos o a diferenciar entre tejido sano y tejido canceroso, será descrito por alguna función matemática, casi siempre desconocida, y lo aprenderá con un error pequeño, arbitrariamente bajo y acotado únicamente por nuestra paciencia. El proceso de aprendizaje en una red consume mucho tiempo (en ciclos de microprocesador y, a veces, en decenas de hora de procesamiento), pues suele ser iterativo y los pesos se van reajustando a fin de minimizar algún error. Una excepción notable está dada por las redes de Hopfield, en donde los formalismos de sistemas dinámicos ayudan a que éstas aprendan en forma inmediata.



Se recordará que una función en el sentido matemático es una regla de relación entre dos conjuntos, en la que a cada elemento del primer conjunto le corresponde uno y sólo un elemento del segundo conjunto; por ejemplo, el primer conjunto puede ser el color de los píxeles de una imagen, es decir, información visual dada por una fotografía, y el segundo estar formado por sólo dos elementos: la etiqueta perro y la etiqueta gato. Una tarea que tales redes pueden aprender es a distinguir entre perros y gatos. Para ello, se requiere encontrar una función que tome como argumentos, de entrada, combinaciones de píxeles y su color y los asocie a la etiqueta. Imágenes que contienen perros se asociarán al concepto de pe-



rro y las que contienen gatos al de gato. La red aproximará dicha función (como ejercicio, intente enunciar explícitamente las reglas o función que distinguen a los miembros de estas dos categorías) de forma implícita, esto es, codificada en los pesos que conectan a las neuronas.

Cuando una red de este tipo ha concluido su aprendizaje, esto es, ha asociado elementos del primer conjunto con elementos del segundo con un error arbitrariamente pequeño, decimos que la función ha sido aproximada o aprendida y se encuentra codificada en los pesos que conectan a las neuronas. Lo procedente será evaluarla en situaciones inéditas, es decir, preguntarle si una fotografía que no había procesado con anterioridad contiene un perro o un gato; si aprendió adecuadamente, el error en el proceso de evaluación será relativamente bajo. A esto es a lo que aspiramos quienes trabajamos en el área, aunque en la inmensa mayoría de los conjuntos de datos con los que trabajamos, los errores nunca son tan pequeños como quisiéramos, y esto se puede deber a que: los ejemplos con los que entrenamos a la red no fueron representativos, el algoritmo de entrenamiento (el que ajusta los pesos) no fue el adecuado o los atributos que creíamos relevantes no son suficientes para que ésta aprenda.

En su muy recomendable libro *The allure of machinic life*, John Johnston enuncia la hipótesis de que es el cálculo, y no la lógica, la matemática que dota a los organismos de su capacidad de inteligencia, y es lo que precisamente una red neuronal computacional intenta implementar. El soviético Nicolai Kolmogorov, uno de los gigantes de las matemáticas, dio respuesta en 1956 a una pregunta planteada 56 años antes por David Hilbert, otro de los gigantes ma-

temáticos. En suma, lo que Kolmogorov demostró es que una función arbitrariamente complicada puede ser aproximada por una combinación lineal de funciones extremadamente simples. Como se recordará, en una red de este tipo las neuronas son unidades de procesamiento muy simples, por lo que, operativamente, podemos ver a estas redes como un aproximador de funciones, incluso podemos entrenarla o enseñarle un proceso o tarea que sabemos que es descrito por una función matemática aunque no la conozcamos.

Finalmente, si como ya señalamos, en una red neuronal computacional lo que tratamos es de resumir los aspectos relevantes de los sistemas nerviosos biológicos, quiere decir que en la inmensa mayoría de los modelos empleados no se incluye ningún aspecto que se asocie con las emociones experimentadas por los sistemas biológicos. Sin embargo, como también lo vimos al inicio, la relevancia de las emocio-

nes en los procesos de inteligencia no es despreciable. Vale la pena preguntarse: ¿pueden tales redes reconocer emociones? Si es así, esto nos diría que existe una función que asocia patrones en, por ejemplo, la fotografía que muestra un rostro, con una emoción. Y, ¿podemos implementar emociones en una red? Finalmente, una interrogante más inquietante sería: ¿para qué quisiéramos que dichas redes experimentasen emociones?

Las emociones en estas redes

Se han hecho esfuerzos por dotar a las redes neuronales computacionales de emociones. ¿Para qué quisiéramos tal cosa? Estas redes han sido capaces de detectar, con relativo éxito, la emoción reportada por una persona al momento en que le fue tomada una fotografía. Así, una persona que dijo estar alegre fue etiquetada de esa forma en la fotografía, y aquellas tristes de igual manera: un enorme conjunto de entrena-



miento formado por fotos de personas tristes y personas alegres fue mostrado a una red que, como ya vimos, es capaz de aproximar una función desconocida, aprendiendo a distinguir si una fotografía inédita mostraba a una persona alegre o triste.

Lo anterior nos dice que una red de este tipo es muy buena asociando imágenes con las emociones que los sujetos fotografiados aseguran haber experimentado al momento en que les fue tomada la imagen. La sutileza del experimento es interesante: la red es capaz de codificar en sus pesos aquello

que visualmente le permitiría a una persona saber si alguien más está triste, enojada o temerosa. ¿Es la sonrisa o su ausencia? ¿Es la relación entre párpados y boca? Resulta difícil escribir explícitamente un conjunto de reglas que nos permita programar una computadora para hacer lo que nosotros hacemos tan bien (casi siempre, como nos lo recuerda la paciente estudiada por Damasio). No obstante, dichas redes, que son muy buenas aproximando ciertas tareas, pueden hacerlo sin que explícitamente le especifiquemos las reglas que definen a una persona triste y que las distinguen de una persona enojada. Varios investigadores, como Lofti, han creado sistemas de ayuda para adultos mayores capaces de detectar el estado de ánimo del interlocutor humano y ofrecer un rostro con una imagen en concordancia a fin de facilitar la comunicación. Con todo y que una red es, con ciertas licencias, capaz de codificar lo que identifica como triste a una persona, al menos visualmente, no podemos decir que ésta se sienta así.

¿Qué tanto se incrementa el poder de cómputo de una red neuronal si incluye emociones?, es decir, ¿puede una red de este tipo aprender tareas cuando incorpora aspectos relacionados con las emociones que no podría aprender de otra manera? La respuesta es un categórico no, pues como se mencionó antes respecto del teorema de Kolmogorov, no hace falta sino un colectivo de unidades simples (funciones de un sólo argumento) que procesen en forma sistemática algún estímulo para aproximar alguna función. Sin embargo, operativamente, como ya se mencionó, cuando las emociones intervienen, los episodios tienden a recordarse con mayor claridad. Lo que es interesante, no obstante, es preguntarnos si el incorporar un símil a las emociones nos en-

señaría algo sobre cómo los organismos biológicos aprendemos. En ese sentido, investigadores como Hieda Chie y sus colaboradores o Levine crearon modelos en los que las tareas más difíciles de aprender se codifican en regiones de las redes que corresponden, de acuerdo con la arquitectura propuesta, a regiones “ancestrales” del cerebro humano, como la amígdala.

Discusión

La teoría de la mente, en un término más bien extraño, intenta dar fundamentos a preguntas como: ¿qué estará pensando aquella persona?, y busca formalizar los conceptos y acciones para determinar las emociones o pensamientos de alguien más, esto es, el estado que guarda su cerebro.

La dicotomía mente-cerebro es, a la luz de la ciencia y los avances recientes, difícil de mantener. Las propiedades metafísicas de la mente se diluyen cuando se plantean las preguntas en términos científicos. De esta forma, la conciencia y las emociones se explican en tanto que fenómenos emergentes, estados que surgen de la interacción de elementos relativamente sencillos, como las neuronas, y la forma en que se afecta la comunicación entre ellas. En la tradición científica moderna, la mente es lo que hace el cerebro y distinguirlos arbitrariamente es inadecuado.

En su libro *La sociedad de la mente*, Marvin Minsky, connotado detractor de las redes neuronales computacionales pero conocido por sus notables contribuciones a la inteligencia computacional, sugiere que las emociones no pueden separarse fácilmente del razonamiento. No obstante, continúa, pensamientos y sentimientos suelen ser colocados en categorías diferentes en



casi todas las culturas. Minsky afirma que suele creerse que las emociones son muy difíciles de comprender pues solemos confundir razonamiento con emociones; mantiene que la pregunta relevante no es si las máquinas inteligentes podrán algún día experimentar o no emociones, sino si es posible ser realmente inteligente sin la capacidad de manifestar alguna emoción.

Desde la tradición neodarwinista, la aparición de los órganos y las conductas de los organismos se explican como resultado de una primigenia aparición y una subsecuente ventaja selectiva. Bajo esta óptica, la existencia de las emociones se entiende como un mecanismo que proveyó a algún ancestro de ciertas capacidades que le permitieron adaptarse mejor al entorno, acaso tener miedo ante lo desconocido, esconderse y librarse así de una potencial muerte. En tradiciones menos basadas en la narración *ad hoc* de la historia, las emociones surgen como efecto secundario (exaptación, como la defi-



nieron Gould y Vrba) en un sistema que trataba de mantenerse vivo a como diere lugar.

Las emociones, ha sido teorizado, constituyen un mecanismo externo que de alguna manera supervisa las actividades de inteligencia. Cuando fuimos capaces de leer de corrido por primera vez, seguramente recordará el lector, el gozo fue enorme. Las tareas de inteligencia asociadas, entre ellas la de reconocer la escritura, entenderla y sintetizarla, están acompañadas de un estado adicional, el de la emoción que desencadena tal logro.

Conclusiones

Las capacidades de inteligencia en los humanos, al igual que en otros organismos, están dadas por el colectivo de células nerviosas y su interacción con órganos y tejidos. Las emociones, no obstante, permiten a los humanos, y tal vez a muchos otros organismos, apreciar la belleza del atardecer, sentir empatía cuando una persona, en regiones tal vez remotas y con quien nunca cruzaremos palabra, sufre alguna desgracia. Las emociones nos permiten enfurecernos al saber que hay quien se enriquece a costa del sufrimiento de

sus empleados. Esta capacidad es, tal vez, un accidente en la historia, pero con un correlato biológico.

Viene al caso, como conclusión, la escena final de la película *Blade Runner*, dirigida por Ridley Scott y basada en la novela *Sueñan los androides con ovejas eléctricas*, de Philip K. Dick. Roy (Rutger Hauer), el replicante antagonista de Deckard (Harrison Ford), es capaz de mostrar una muy variada gama de emociones que uno supondría meramente humanas. Pasa de la ira, más que justificada pues sus amigos han sido asesinados, al miedo, al saber que pronto morirá, a la alegría al recordar, así sea por breves momentos, lindas escenas que presenció en su muy corta vida. Al momento de su muerte, Roy deja volar, de entre sus manos, una paloma. La película, que hasta ese momento había sido oscura, toma un giro inesperado y se torna brillante, mientras acompañamos el vuelo del ave recién liberada. Deckard se siente confundido al presenciar las emociones y las acciones de Roy, a quien consideraba una máquina *as any other machine*, incapaz de experimentar emociones y llevar a cabo acciones nobles. Deckard, quien debe la vida a la bondad final de Roy, también está en un torbellino de emoción.




nes, pues se siente atraído hacia otra replicante, la guapa Rachael (Sean Young). Y él mismo, Deckard (*spoiler alert*) no es otra cosa sino un organismo no humano.

La ausencia de emociones, como es el caso en AlphaGo, no deteriora las capacidades de inteligencia de una red neuronal computacional. No obstante, de poder experimentarlas, las emocio-

nes le concederían la capacidad de evaluar, desde una perspectiva distinta, si la tarea que intenta le generara alegría o tristeza, remordimiento o tranquilidad. Cuando Roy deja vivir a Deckard, lo hace guiado por la riqueza de sus



emociones; racionalmente, tal vez convenía privarlo de la vida, pero el sentimiento de solidaridad le hizo tomar otra decisión.

En el futuro, cuando exista un continuo entre humanos totalmente biológicos y organismos con un porcentaje mayoritario de estructuras no heredadas de sus ancestros, las emociones serán lo que nos mantenga unidos. 

José Antonio Neme Castillo

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Unidad Mérida
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cahill, L. *et al.* 1996. "Amygdala activity at encoding correlated with long-term, free recall of emotional information", en *Proc. Natl. Acad. Sci.*, núm. 93, pp. 8016-8021.

Chie, Hieda *et al.* 2018. "Deep emotion: A Computational model of emotions using deep neural networks", en: <https://arxiv.org/abs/1808.08447>.

Domingos, Pedro. 2015. *The master algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*. Penguin Books, Londres.

Johnston, John. 2010. *The Allure of Machinic Life. Cybernetics, Artificial Life and the New AI*. Bradford Books.

Kandel, Eric, James Schwarz *et al.* 2013. *Principles of neural science*, quinta edición. McGraw-Hill.

Kragel, P. *et al.* 2019. "Emotion schemas are embedded in the human visual system", en *Science advances*.

Lem, Stanislaw. 1971. *Congreso de Futurología*. Alianza Editorial, Madrid, 2007.

Levine, D. 2007. "Neural network modeling of emotion", en *Physics of Life Reviews*, núm. 4, pp. 37-63.

Lofti, E. 2014. "Practical emotional neural networks", en *Neural networks*, núm. 59, pp. 61-72.

Minsky, Marvin. 1986. *The society of Mind*. Simon and Schuster.

Mitchel, Melanie. 2011. *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press.

Pahkomiv, A. 2013. "Thermodynamic view on decision-making process: emotions as a potential power vector of realization of the choice", en *Cogn Neurodyn*, núm. 7, pp. 449-463.

Rojas, Raúl. 1996. *Neural Networks, a systematic introduction*. Springer Verlag.

Sporns, O. 2013. "Structure and function of complex brain networks", en *Dialogues Clin Neurosci*, vol. 15, núm. 3, pp. 247-262.

Wong-Riley, M. 2010. "Energy metabolism of the visual system", en *Eye and Brain*, núm. 2, pp. 99-116.

EN LA RED

Hume's moral philosophy, en <https://stanford.io/2v9cfU5> el 11 de septiembre del 2019.

The neurobiology of Emotion. (2006). Libro electrónico consultado el 10 de septiembre del 2019 en: <http://bit.ly/36gMMFo>

<https://www.wired.com/2017/05/googles-alphago-trounces-humans-also-gives-boost/> consultado el 3 de octubre del 2019.

<https://www.newscientist.com/article/mg14419563-200-the-woman-who-knows-no-fear/> Consultado el 2 de octubre de 2019.

IMÁGENES

P. 21: Película no identificada. P. 22: Pauline Starke, Collection Lost Hollywood, 1919, by Heritage Auctions; Stand Laurel en *Below Zero*, James Parrot, 1930, MGM; Charles Chaplin, en *Modern Times*, 1935, Charles Chaplin Productions. P. 23: Charles Laughton en *The Suspect*, Robert Siodmak, 1944, Universal Pictures. P. 24: Corine Griffith en *Lilies of the field*, Alexander Korda, 1930, Warner Bros.; Charles Laughton en *Hunchback of Notre Dame*, William Dieterle, 1939, RKO Radio Imágenes. P. 24: Dolores del Río en *Ramona*, Edwin Carewe, 1928, United Artists; Helena Cortesina en *La Flor de España o la vida de un torero*, José María Granada, 1921; Gilbert Roland en *The Woman Disputed*, Henry King y Sam Taylor, 1928, United Artist. P. 26: Norma Shearer en *Lady of the Night*, Monta Bell, 1925, MGM; Lugosi Bela en *Dracula*, Tod Browning, 1931, Universal Pictures; Josephine Baker en *Princesse Tam Tam*, Edmond Greville, 1935, Productions Arys; Nina Mackinney en *Hallelujah*, King Vidor, 1929, King Vidor Productions. P. 27: Mary Pickford en *Cinderella*, James Kirkwood, 1914, Famous Players Film Company; Hobart Bosworth en *Behind the Door*, Irving Willant, 1919, Paramount Pictures.

NEURAL NETWORKS AND EMOTIONS

Palabras clave. Inteligencia artificial, emociones, redes neuronales.

Key words. Artificial Intelligence, Emotions, Neural Networks.

Resumen. Es usual suponer que las emociones agregan aspectos negativos a los procesos cognoscitivos. Suele pensarse como el opuesto a la racionalidad. Las redes de neuronas artificiales, que son modelos computacionales y matemáticos de los sistemas nerviosos, carecen en su mayoría de aspectos que recuperen aspectos emocionales, pues heredan la idea de separar emociones de cualquier análisis o tom de decisiones. No obstante, los investigadores han encontrado que que si una red de neuronas incluye aspectos que asemejan procesos emocionales, los resultados pueden ser relevantes y potencialmente útiles para comprender ciertas tareas.

Abstract. It is often assumed that emotions make a negative contribution to cognitive processes. They tend to be seen as the opposite of rationality. Artificial neural networks, which are computational and mathematical models of the nervous system, largely lack this emotional aspect, as they have inherited the idea of separating emotions from analysis and decision-making. Nevertheless, researchers have found that if a neural network contains features that resemble emotional processes, the results can be potentially useful for understanding certain phenomena.

José Antonio Neme Castillo es investigador del IIMAS Unidad Mérida desde el 2018. Entre sus áreas de interés están el aprendizaje computacional, la bioinformática y la detección de anomalías.

Recibido el 17 de febrero de 2020; aceptado el 28 de abril.