Revista ARJÉ
Vol. 18. N° 34. Edición enero - junio 2024
ISSN Versión impresa 1856-9153
ISSN Versión digital 2443-4442

TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD: INSPIRACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

COMPLEXITY THEORY: INSPIRATION FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Eriorkys Elena Majano Crespo
eriorkysm.u@gmail.com
ORCID 0009-0003-9331-7698
Doctorado en Ciencias de la Administración. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Barquisimeto, Venezuela

Recibido 22/01/2024 - Aprobado 05/03/2024

Resumen

La intencionalidad del presente ensayo es indagar en la Teoría de la Complejidad según Warren McCulloch, fundador de la Inteligencia Artificial (IA), quien sostuvo que dicha teoría se ocupa de los sistemas complejos, enalteciendo la importancia de la interacción, la emergencia, la adaptación, el aprendizaje, las redes y la autoorganización en los sistemas basados en IA. Este ensayo analítico es el resultado de una investigación documental, con paradigma interpretativo, sustentado en el método hermenéutico. Se toma como basamento la Teoría de la Complejidad de McCulloch. De las inferencias se desprende que la teoría estudiar sistemas con partes interconectadas y propiedades emergentes permite argumentar que la IA crea sistemas inteligentes que imitan la cognición humana.

Palabras clave: teoría de la complejidad, inteligencia artificial, paradigma.

Abstract

The purpose of this essay is to investigate the Theory of Complexity according to Warren McCulloch, founder of Artificial Intelligence (AI), who argued that this theory deals with complex systems, highlighting the importance of interaction, emergence, adaptation, learning, networks and self-organization in AI-based systems. This analytical essay is the result of documentary research, with an interpretive paradigm, supported by the hermeneutic method. McCulloch's Theory of Complexity is taken as a foundation. From the inferences it follows that the theory of studying systems with interconnected parts and emergent properties allows us to argue that AI creates intelligent systems that imitate human cognition.

Keywords: complexity theory, artificial intelligence, paradigm.

Introducción

La percepción humana no es simplemente la suma de las sensaciones individuales, sino que el cerebro organiza estas sensaciones en totalidades significativas formas. Es por esto, que Wertheimer (citado por Torres, 2015), establece en su Teoría de Gestalt que la complejidad se basa en una serie de principios clave, entre los que se encuentran: 1. El todo es más que la suma de sus partes, las propiedades de un sistema complejo no pueden entenderse sumando las propiedades de sus partes individuales. 2. Las interacciones no lineales son importantes, las interacciones de pequeños cambios en las condiciones iniciales pueden tener grandes consecuencias. 3. La emergencia, los sistemas complejos pueden exhibir comportamientos emergentes, que no pueden predecirse a partir de las propiedades individuales de sus partes. 4. La autoorganización, los sistemas complejos pueden cambiar y adaptarse sin ninguna intervención externa.

Entonces, estos principios fundamentales de la Gestalt, se establecen como un pilar para la Teoría de la Complejidad, ya que ambas teorías enfatizan que las propiedades de un sistema no pueden comprenderse simplemente analizando sus componentes individuales, sino que emergen de las interacciones entre ellos. Concibo pues, que la Teoría de la Gestalt y la Teoría de la Complejidad comparten una visión holística y sistémica de la realidad, enfatizando la importancia de las relaciones, los patrones y la emergencia. Bien sé que, surgieron en contextos diferentes, ambas teorías proporcionan marcos valiosos para comprender la complejidad del mundo que nos rodea.

Definitivamente, la Teoría de la Complejidad es un campo interdisciplinario que estudia el comportamiento de sistemas complejos. Estos sistemas están compuestos por muchas partes interconectadas que interactúan de manera no lineal, lo que da lugar a comportamientos emergentes que no pueden predecirse a partir de las propiedades individuales de sus partes. Este concepto es esencial para la capacidad de las redes neuronales de realizar operaciones lógicas y procesar información compleja.

En cuanto a, quién es el padre de la Teoría de la Complejidad, no existe un único padre por ser un campo interdisciplinario que ha sido desarrollado por muchos científicos y pensadores a lo largo de los años. Sin embargo, hay figuras clave que han hecho importantes contribuciones a la teoría, como: Norbert Wiener, John Von Neumann, Ross Ashby, Heinz Von Foerster, Ilya Prigogine, Hermann Haken, Edgar Morin y Warren McCulloch. Esta afirmación, se apoya en la obra de Holland (2014) llamada *Complexity: A Very Short Introduction*, la cual sintetiza y reconoce las contribuciones de estas figuras al campo de la complejidad, explorando cómo los sistemas complejos se comportan. Holland (2014) reconoce la importancia de la cibernética para el estudio de los sistemas complejos.

En el caso de, McCulloch, este se centró en la comprensión del sistema nervioso como un sistema complejo, sentando las bases para el desarrollo de las redes neuronales artificiales y la Inteligencia Artificial (IA). Para McCulloch (1943), la actividad neuronal es:

> *Un proceso todo o nada, cada neurona necesita un número umbral de neuronas excitadas para ser excitada, el único retardo significativo dentro del sistema es el retardo*

> *sináptico, la actividad de cualquier sinapsis inhibitoria previene absolutamente la excitación de la neurona en ese intervalo de tiempo, la estructura de la red no cambia con el tiempo. (p. 12)*

Esta afirmación, simplifica la complejidad de la actividad neuronal real. Las neuronas muestran una variedad de respuestas graduadas y el umbral de activación permite a las neuronas filtrar las señales de entrada y responder solo a estímulos suficientemente fuertes. Esto significa que el tiempo que transcurre en el espacio sináptico, es el que toma la información en pasar de una neurona a otra, una sinapsis inhibitoria, es una sinapsis que impide que la neurona que recibe la información se excite. Esta consideración simplifica enormemente la realidad, ya que el cerebro es un sistema dinámico y en constante cambio.

McCulloch, fue un neurobiólogo y neurofísico estadounidense, es considerado uno de los padres fundadores de la cibernética y IA, ya que, su modelo de neuronas artificiales fue crucial para el desarrollo de las redes neuronales. Sus ideas sobre la complejidad fueron influenciadas por su trabajo en neurociencia, matemáticas y filosofía.

La contribución más significativa de McCulloch a la IA es, sin duda, su trabajo pionero en el modelado matemático de las neuronas, realizado en colaboración con Walter Pitts. En la revista *Bulletin of Mathematical Biophysics*, se encuentra publicada la obra *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, en ella, McCulloch y Pitts (1990) presentan un modelo matemático simplificado de la neurona, conocido como el modelo de

McCulloch-Pitts, este modelo demostró que las redes neuronales podían realizar operaciones lógicas, es la base de las redes neuronales que se utilizan hoy en día en la IA.

Por otra parte, la información proporcionada sobre McCulloch se encuentra respaldada por fuentes documentales y publicaciones especializadas que detallan su vida y obra, como es el caso del libro de Abraham (2016) titulado *Rebel Genius: Warren S. McCulloch's Transdisciplinary Life in Science*, este libro ofrece una biografía detallada de McCulloch, donde se documentan sus trabajos, participaciones en asociaciones y sus intereses diversos, incluyendo la poesía y el diseño. Desde 1952, McCulloch trabajó en el Laboratorio de Investigación de Electrónica del MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts), principalmente en el modelado de redes neuronales, también, fue miembro de la *American Society for Cybernetics* de la cual fue su primer presidente desde 1967 al 1968. A parte de las contribuciones a la ciencia, McCulloch escribió poesía (sonetos) y diseñó edificios y un embalse para su granja de *Old Lyme, Conneticut*.

McCulloch reconoció la importancia de la interacción, la emergencia, las redes y la autoorganización en los sistemas complejos, sus ideas sobre la relación entre mente y cerebro son consistentes con la visión de la Teoría de la Complejidad. Para sustentar esta afirmación, es necesario recurrir a la interpretación de la obra de Holland (2014) para comprender por qué las contribuciones de McCulloch se alinean con los principios de la Teoría de la Complejidad:

Se me figura, así de momento, que McCulloch al describir las neuronas como nodos interconectados, sentó las bases para la comprensión de las redes neuronales, esto es fundamental para la Teoría de la Complejidad, que estudia cómo las interacciones entre los componentes de un sistema dan lugar a comportamientos emergentes. También, demostró cómo la actividad de una red de neuronas podía generar comportamientos complejos a partir de la interacción de elementos simples, esto es un principio central de la emergencia en la Teoría de la Complejidad. Su trabajo en cibernética, que exploraba los mecanismos de control y retroalimentación en sistemas complejos, contribuyó a la comprensión de la autoorganización. Incluso, buscó comprender cómo la mente surge de la actividad del cerebro, explicando cómo los fenómenos complejos, como la conciencia, emergen de la interacción de elementos simples.

Con respecto a, la Teoría de la IA es una propuesta de Turing (1950), para demostrar la existencia de inteligencia en una máquina. En esencia, el término IA fue acuñado por John McCarthy durante la Conferencia de Dartmouth (1956), donde indicó que la IA se centra en la idea de simular la inteligencia humana a través de la programación de computadoras. A lo largo de las décadas, la IA ha experimentado altibajos, pero siempre ha mantenido el objetivo de crear máquinas que puedan realizar tareas que requieren inteligencia humana.

Sería prudente, comentar sobre los componentes esenciales de la IA los cuales fueron citados por McCarthy durante la Conferencia de Dartmouth (1956), estos son "*el aprendizaje, el razonamiento, y la autocorrección*". (p. 66). Estos

tres componentes están interconectados y se refuerzan mutuamente; el aprendizaje proporciona el conocimiento para mejorar el rendimiento a través de la experiencia, el razonamiento permite utilizar ese conocimiento para tomar decisiones, y la autocorrección asegura que el sistema pueda adaptarse y mejorar con el tiempo. Por tanto, estos componentes son fundamentales para la creación de sistemas de IA que puedan realizar tareas complejas y adaptarse a entornos cambiantes, los que hacen que la IA sea tan poderosa y versátil.

Una vez hechas las precisiones anteriores y según los enunciados de McCulloch (1943), la relación de la Teoría de la Complejidad con la IA se encuentra en una intersección fascinante, donde los principios de uno pueden informar y mejorar al otro. La Teoría de la Complejidad ofrece un marco para comprender los sistemas complejos, como el cerebro humano, que son esenciales para el desarrollo de sistemas de IA verdaderamente inteligentes. La IA es precisamente el campo científico dedicado a verificar si un ordenador convenientemente programado es capaz o no de tener conducta inteligente de tipo general.

Por consiguiente, se presenta como debate crucial: ¿los aportes de la Teoría de la Complejidad conllevan al desarrollo de sistemas de IA eficientes, eficaces y efectivos? En respuesta, la intencionalidad general del presente ensayo consiste indagar en la Teoría de la Complejidad según Warren McCulloch, quien sostuvo que la Teoría de la Complejidad se ocupa de los sistemas complejos. La estructura del presente ensayo contempla el estudio de la Teoría de la Complejidad según McCulloch, el énfasis en la interacción y la

emergencia, la adaptación y aprendizaje, las redes y la autoorganización, y la Teoría de la Complejidad e Inteligencia Artificial (IA).

La Teoría de la Complejidad según McCulloch

Algunos de los conceptos clave de la Teoría de la Complejidad de McCulloch son: los sistemas complejos están compuestos por muchas partes interconectadas, las interacciones entre las partes de un sistema complejo son no lineales, los sistemas complejos pueden exhibir comportamientos emergentes, y los sistemas complejos pueden autoorganizarse. Esta afirmación es respaldada por Ibáñez (2020), quien en su blog comenta que un sistema complejo es un sistema que está formado por numerosas partes o elementos interconectados entre sí, de forma que se genera un comportamiento emergente impredecible a partir del comportamiento individual de cada parte. Las interacciones no lineales casi siempre provocan que el comportamiento agregado sea más complejo que la simple suma de los comportamientos individuales. Incluso, Moriello (2003) establece que la interacción entre los elementos de los sistemas complejos es local y origina un comportamiento emergente que no puede explicarse como elementos tomados aisladamente. Por otra parte, Martin (2015) publica que los sistemas complejos se caracterizan por ser sistemas compuestos de agentes conectados, interdependientes, diversos, adaptativos, y pendientes del camino cuyos interacciones resultan en fenómenos emergentes.

Estas afirmaciones convergen en una visión de los sistemas complejos como redes dinámicas y no lineales, donde la emergencia, la autoorganización y la adaptabilidad son características distintivas. La emergencia significa que el

sistema en su conjunto exhibe propiedades que no se pueden prever analizando solo sus componentes individuales. Se refuerza la idea de que el todo es mayor que la suma de sus partes, las interacciones no lineales generan patrones y dinámicas que no se encuentran en los elementos individuales.

En efecto, estos conceptos son esenciales para entender el cerebro y otros sistemas complejos y pueden usarse para desarrollar nuevas tecnologías, como computadoras y robots que pudieran pensar y actuar de manera autónoma. Las ideas de McCulloch (1943) sobre la computación neuronal y la organización de redes neuronales contribuyeron a la comprensión de los sistemas complejos, allanando el camino para el desarrollo de la Teoría de la Complejidad. Según el referido autor, la Teoría de la Complejidad se basa en los siguientes principios:

> 1. *Los problemas computacionales pueden clasificarse en términos de su dificultad, algunos problemas son fáciles de resolver, mientras que otros son muy difíciles o incluso imposibles de resolver. 2. La complejidad de un problema computacional puede medirse por el número de pasos necesarios para solucionarlo, cuantos más pasos se necesiten, más complejo será el problema. 3. Existen diferentes clases de problemas computacionales, cada una con su propia complejidad, algunas clases de problemas son más fáciles de resolver que otras. (p. 20)*

Evidentemente, sus principios proporcionan una base sólida para comprender la dificultad de los problemas computacionales y para diseñar algoritmos eficientes para su solución. Por otra parte, McCulloch llamó a la Teoría de la Complejidad como la Teoría de la Complejidad Computacional, por centrarla

en la cuantificación de la dificultad de los problemas computacionales, la cual fue introducida en su artículo llamado *A Mathematical Model of the Nervous System* publicado en 1965. La Teoría de la Complejidad Computacional es una herramienta poderosa para comprender la dificultad de los problemas computacionales, sus principios fundamentales se utilizan en el diseño de algoritmos, el análisis de rendimiento de sistemas informáticos y la criptografía.

Si bien McCulloch no desarrolló explícitamente una Teoría de la Complejidad, su trabajo sentó las bases para entender sistemas complejos como el cerebro. Al modelar una neurona como un elemento simple en una red, contribuyó a la idea de que la complejidad surge de la interacción de muchos elementos simples.

El énfasis en la interacción y la emergencia

El comportamiento de las redes neuronales según McCulloch, no era simplemente la suma de las propiedades de las neuronas individuales, sino que surgía de la interacción entre estas. Esta idea es fundamental para la Teoría de la Complejidad, que estudia cómo las propiedades emergentes surgen de sistemas complejos. Uno de los aspectos más importantes del trabajo de McCulloch es su énfasis en la interacción y la emergencia, pues, sostenía que el cerebro no es simplemente una colección de neuronas individuales, sino que es un sistema complejo en el que las neuronas interactúan entre sí de manera dinámica.

Esta interacción da lugar a la emergencia de propiedades nuevas y emergentes, como la conciencia y la inteligencia. McCulloch (1943) creía que la interacción entre las neuronas es esencial para el funcionamiento del cerebro, las neuronas se comunican entre sí mediante señales eléctricas y químicas, y estas señales pueden tener un efecto excitatorio o inhibitorio en las neuronas receptoras, la combinación de estas señales determina si una neurona disparará o no.

El modelo matemático de la neurona que captura la idea de la interacción fue desarrollado por McCulloch (op. cit.), también conocido como el modelo de McCulloch-Pitts, es una neurona artificial simple que puede procesar entradas y generar salidas, y fue uno de los primeros modelos de redes neuronales artificiales, que además, ha tenido una gran influencia en el desarrollo de este campo. Incluso, McCulloch también creía que la interacción entre las neuronas da lugar a la emergencia de propiedades nuevas y emergentes, como la conciencia y la inteligencia. La emergencia es la idea de que un sistema complejo puede tener propiedades que no están presentes en sus partes individuales. En el caso del cerebro, las propiedades emergentes como la conciencia y la inteligencia no son simplemente la suma de las propiedades de las neuronas individuales.

Por lo anterior, McCulloch no proporcionó una definición precisa de la conciencia o la inteligencia, pero creía que estas propiedades surgen de la interacción compleja de las neuronas en el cerebro. Esta idea de la emergencia es todavía un tema de debate entre los científicos, pero sigue siendo una de las ideas más importantes en la neurociencia y la IA. McCulloch, mostró cómo

la interacción de elementos simples puede dar lugar a sistemas complejos y emergentes; su trabajo sentó las bases para nuestra comprensión actual de la mente, la inteligencia y la complejidad.

La adaptación y el aprendizaje

La adaptación y el aprendizaje fueron considerados por McCulloch, como dos procesos fundamentales para el funcionamiento del cerebro y la mente, por ello, propuso un modelo computacional del cerebro basado en redes neuronales artificiales, donde las neuronas se conectaban entre sí mediante sinapsis. Estas conexiones podían fortalecerse o debilitarse con el tiempo, lo que permitía que el cerebro aprendiera y se adaptara a su entorno. Para McCulloch, la adaptación era la capacidad del cerebro para ajustar sus respuestas a los cambios en el entorno, esta capacidad era esencial para la supervivencia, ya que permitía a los organismos responder de manera efectiva a nuevos desafíos y oportunidades. Según McCulloch (1943), la adaptación se basaba en los siguientes principios:

> *Plasticidad neuronal: las neuronas son capaces de cambiar la fuerza de sus conexiones sinápticas en respuesta a la experiencia. Recompensa y castigo: el cerebro aprende a asociar ciertas acciones con recompensas y otras con castigos, esta información de retroalimentación se utiliza para fortalecer las conexiones sinápticas que conducen a recompensas y debilitar las que conducen a castigos. Generalización: el cerebro puede generalizar lo que ha aprendido a nuevas situaciones, esto significa que puede aplicar lo que ha aprendido en una situación a otras situaciones similares. (p. 34)*

El aprendizaje como el proceso de adquirir nuevas habilidades y conocimientos fue definido por McCulloch (1943), indicando que este era esencial para el desarrollo cognitivo, ya que permitía a los individuos adquirir la información y las habilidades necesarias para funcionar en el mundo. El aprendizaje se puede interpretar como el proceso por el cual la red ajusta sus parámetros (pesos de las conexiones) para mejorar su rendimiento en una tarea específica. Este proceso de ajuste se basa en la experiencia, ya sea a través de ejemplos de entrenamiento con entradas y salidas deseadas (aprendizaje supervisado) o a través de la exploración de datos sin información de salida explícita (aprendizaje no supervisado). Según McCulloch (1943), el aprendizaje se basaba en los siguientes principios:

> *Memoria: el cerebro almacena información en forma de recuerdos, estos recuerdos pueden ser utilizados para guiar el comportamiento futuro. Atención: el cerebro puede enfocarse en cierta información y filtrar otras, esto permite que el cerebro aprenda de la información más relevante. Motivación: el cerebro está motivado para aprender cosas que son relevantes para sus necesidades y objetivos. (p. 38)*

Para McCulloch (1943), la adaptación y el aprendizaje estaban estrechamente relacionados. El aprendizaje era un proceso necesario para la adaptación, ya que permitía al cerebro adquirir la información y las habilidades necesarias para ajustar sus respuestas a los cambios en el entorno. A su vez, la adaptación era esencial para el aprendizaje, ya que proporcionaba al cerebro las experiencias necesarias para aprender y crecer. Las ideas de McCulloch, sobre la adaptación y el aprendizaje han tenido una profunda influencia en el campo de la IA. Sus modelos computacionales del cerebro han inspirado el

desarrollo de nuevas redes neuronales artificiales que son capaces de aprender y adaptarse de manera similar a los cerebros humanos.

Aunque el modelo de neurona formal de McCulloch, era una simplificación de la realidad, sentó las bases para comprender cómo sistemas simples pueden dar lugar a comportamientos complejos como el aprendizaje y la adaptación. Las redes neuronales modernas, inspiradas en este trabajo, han demostrado ser capaces de realizar tareas sorprendentes, desde el reconocimiento de imágenes hasta la traducción automática.

Las redes y la autoorganización

McCulloch, propuso que las redes neuronales podían organizarse de manera autónoma, sin una dirección centralizada. Esta idea de autoorganización es un principio clave en la Teoría de la Complejidad, que describe cómo los sistemas complejos pueden autoorganizarse en patrones y comportamientos complejos sin una intervención externa. Además, consideraba que las redes neuronales y la autoorganización eran principios fundamentales para comprender el funcionamiento del cerebro y la mente. Para McCulloch (1943) las redes neuronales deben caracterizarse por las siguientes propiedades:

> *Conectividad: las neuronas estaban conectadas entre sí en una red compleja. Dinámica: las conexiones sinápticas entre las neuronas podían cambiar con el tiempo. Procesamiento distribuido: la información se procesaba de manera distribuida en toda la red. Emergencia: la red podía exhibir comportamientos emergentes que no eran propiedades de ninguna neurona individual. (p. 45).*

Por consiguiente, las redes neuronales son modelos computacionales inspirados en las neuronas biológicas, mientras que la autoorganización en redes neuronales se refiere a la capacidad de la red para adaptar su estructura y comportamiento de forma autónoma. El proceso de autoorganización se basa en las interacciones entre las neuronas en la red. Para McCulloch (1943) la autoorganización se caracteriza por las siguientes propiedades:

> *Espontaneidad: la autoorganización surgía de las interacciones locales entre las neuronas, sin necesidad de una planificación o control central. Adaptabilidad: la red podía adaptarse a los cambios en su entorno. Robustez: la red era resistente a las perturbaciones. Creatividad: la red podía generar nuevos patrones y comportamientos. (p. 50)*

De ahí que, para McCulloch las redes neuronales y la autoorganización estaban estrechamente relacionadas. Las redes neuronales proporcionaban la estructura física para la autoorganización, mientras que la autoorganización permitía que las redes neuronales desarrollaran estructuras y patrones complejos. La autoorganización es un fenómeno emergente que surge de las interacciones entre las neuronas de la red y tiene un gran potencial para resolver problemas complejos en diversos campos.

Las ideas de McCulloch sobre las redes neuronales y la autoorganización han tenido un profundo impacto en la neurociencia, la IA, la robótica y la psicología. En neurociencia, estas ideas han contribuido a nuestra comprensión del desarrollo del cerebro, el aprendizaje y la memoria. En IA, han inspirado el desarrollo de nuevas redes neuronales artificiales que son capaces de

aprender y adaptarse de manera similar a los cerebros humanos. En robótica, se han utilizado para diseñar robots que pueden aprender y adaptarse a su entorno. Y en psicología, se han aplicado para comprender el desarrollo cognitivo y el comportamiento humano.

McCulloch, mostró cómo la interacción de elementos simples puede dar lugar a sistemas complejos y emergentes. Su trabajo sentó las bases para nuestra comprensión actual de la mente, la inteligencia y la complejidad. Su trabajo se alinea con la Teoría de la Complejidad, que estudia sistemas complejos adaptativos como el cerebro. Esta teoría enfatiza que los elementos de un sistema complejo están altamente interconectados, las relaciones entre los elementos no son lineales, pequeños cambios pueden tener grandes consecuencias, y finalmente, el sistema como un todo exhibe propiedades que no pueden ser explicadas por la suma de sus partes.

Teoría de la Complejidad e Inteligencia Artificial (IA)

Se puede decir que la IA surgió cuando McCulloch propuso un modelo de neurona del cerebro humano y animal, una abstracción que proporcionó una representación simbólica de la actividad cerebral. Se puede situar el origen de los modelos conexionistas con la definición de red neuronal formal dada por McCulloch (1943), se trata de "*un dispositivo binario con varias entradas y salidas*". (p. 83). Por lo anterior, una red neuronal es un método de la IA que enseña a las computadoras a procesar datos de una manera que está inspirada en la forma en que lo hace el cerebro humano.

En efecto, una red neuronal se trata de un tipo de proceso de *machine learning* llamado aprendizaje profundo, que utiliza los nodos o las neuronas interconectados en una estructura de capas que se parece al cerebro humano. Crea un sistema adaptable que las computadoras utilizan para aprender de sus errores y mejorar continuamente. De esta forma, las redes neuronales artificiales intentan resolver problemas complicados, como la realización de resúmenes de documentos o el reconocimiento de rostros, con mayor precisión.

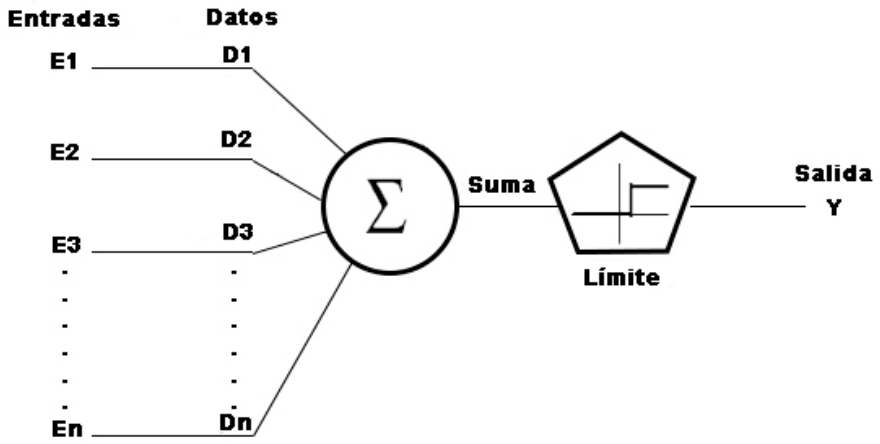
Para Turing (1950), la IA "*es la disciplina científica y tecnológica cuyo objetivo es crear procesos de la mente y su conexión con el cuerpo a través de la metáfora computacional*". (p. 50). Es decir, la IA es una ciencia que se centra en el autoaprendizaje y en el reconocimiento de patrones, tomando en cuenta, que las máquinas puedan alcanzar capacidades comparables a la inteligencia humana según los elementos que las conformen.

McCulloch, posibilitó la fundación de ciertas Teorías de la IA en un número de artículos clásicos, incluyendo *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity* de 1943 en el *Bulletin of Mathematical Biophysics*, donde demostró que una Máquina de Turing podría ser implementada en una red finita de neuronas formales, donde la neurona es la unidad base lógica del cerebro. En el *How we know universals: the perception of visual and auditory forms* de 1947 también en el *Bulletin of Mathematical Biophysics*, ofreció aproximaciones para diseñar redes nerviosas para reconocer entradas visuales a pesar de los cambios de orientación o de tamaño. Examinó el sistema visual de la rana descubriendo que el ojo proporciona al cerebro

información que es, en cierto sentido, organizada e interpretada, en vez de únicamente transmitir la imagen. En la figura N° 1 se muestra el modelo neuronal de McCulloch.

Figura 1

Modelo neuronal de McCulloch



Fuente: McCulloch (1943)

En relación a lo indicado en la figura 1, se define una neurona artificial que puede construirse mediante circuitos eléctricos y que una máquina de Turing la puede implementar, se basa en la lógica y en la electrónica. La neurona artificial es una función aditiva que recibe como entrada un conjunto de valores binarios, cada uno de los valores de entrada puede ser excitador o inhibidor. Si la suma obtenida supera cierto umbral la salida se activa, de lo contrario queda inhibida, la salida también es de carácter binario. Tanto entradas como salidas pueden conectarse con otras neuronas. De esa forma se construye una red neuronal artificial que puede resolver las funciones que se propone realizar.

Obviamente, cuanto más compleja la función, más trabajo es crear la red neuronal.

La Teoría de la Complejidad se ocupa de los sistemas complejos, que son sistemas que están compuestos por muchas partes interconectadas y que exhiben propiedades emergentes, es decir, propiedades que no son propiedad de ninguna de las partes individuales. La IA se ocupa de crear máquinas inteligentes que pueden realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana. La IA es una herramienta poderosa para estudiar y comprender sistemas complejos. Las técnicas de IA, como el aprendizaje automático y el modelado computacional, pueden usarse para identificar patrones y relaciones en grandes conjuntos de datos, construir modelos que simulen el comportamiento de sistemas complejos, analizar y predecir el comportamiento de estos sistemas.

Entonces, la Teoría de la Complejidad puede ser útil para comprender y desarrollar IA de varias maneras. Por ejemplo, la Teoría de la Complejidad puede usarse para comprender cómo surgen la inteligencia y la cognición de los sistemas complejos. Esta comprensión puede usarse luego para diseñar sistemas de IA que sean más inteligentes y adaptables, además, la Teoría de la Complejidad puede usarse para desarrollar nuevos algoritmos de IA que sean más eficientes y efectivos para resolver problemas complejos. La Teoría de la Complejidad influye en el desarrollo de IA mediante el desarrollo de sistemas de IA que pueden aprender y adaptarse a nuevos entornos, que sean más resistentes a fallas y errores, y que puedan colaborar e interactuar con humanos de manera efectiva.

Las ideas de McCulloch han tenido un profundo impacto en el desarrollo de la IA, se evidencia en las redes neuronales modernas, con múltiples capas, son capaces de aprender representaciones abstractas de los datos, lo que les permite realizar tareas cada vez más complejas. Los algoritmos de aprendizaje automático permiten a las máquinas aprender de los datos sin ser programadas explícitamente. El objetivo a largo plazo de la IA es crear sistemas con capacidades cognitivas similares a las humanas, capaces de aprender, adaptarse y resolver problemas en una amplia variedad de dominios.

En fin, la Teoría de la Complejidad y la IA están estrechamente relacionadas y se influencian mutuamente. La Teoría de la Complejidad proporciona un marco para comprender los sistemas complejos, mientras que la IA ofrece herramientas para modelar y analizar estos sistemas. A medida que la IA continúa desarrollándose, es probable que desempeñe un papel aún más importante en la comprensión de la complejidad y el diseño de sistemas de IA más sofisticados.

McCulloch y Turing son figuras clave en la historia de la computación y la IA. Aunque trabajaron en diferentes épocas y contextos, sus ideas convergieron en un punto fundamental: la posibilidad de crear máquinas que pudieran pensar. Ambos, vieron la computación como una herramienta fundamental para comprender y simular la inteligencia; compartieron la visión de que el cerebro podía ser entendido como una especie de máquina de computación. Sus ideas sentaron las bases teóricas para el desarrollo de la IA, inspirando a generaciones de investigadores.

Finalmente, estos investigadores fueron visionarios que, desde diferentes perspectivas, contribuyeron a sentar las bases de la IA. McCulloch, se centró en modelar el funcionamiento del cerebro a nivel neuronal, mientras que Turing, desarrolló una teoría general de la computación. Ambos, consideraban que la inteligencia era un proceso computacional, es decir, un conjunto de operaciones realizadas sobre símbolos. Esta visión influyó profundamente en el desarrollo de la IA, al sugerir que era posible crear máquinas capaces de realizar tareas que antes se consideraban exclusivas de los humanos.

Reflexiones finales

La Teoría de la Complejidad de McCulloch explora la relación entre la mente y el cerebro, sugiriendo que la mente emerge de la actividad de las redes neuronales en el cerebro, por esto, se considera que la adaptación y el aprendizaje son dos procesos fundamentales para el funcionamiento del cerebro y la mente. La adaptación es la capacidad del cerebro para ajustar sus respuestas a los cambios en el entorno, mientras que el aprendizaje es el proceso de adquirir nuevas habilidades y conocimientos.

Desde esta perspectiva, McCulloch consideraba que las redes neuronales y la autoorganización eran principios fundamentales para comprender el funcionamiento del cerebro y la mente, argumentando que la autoorganización es el proceso por el cual una red puede desarrollar estructuras y patrones complejos sin necesidad de una intervención externa. Las ideas de McCulloch sobre el cerebro y las redes neuronales pueden verse como una contribución temprana e importante al entendimiento de los sistemas complejos.

La Teoría de la Complejidad, con sus raíces en el trabajo pionero de científico de Warren McCulloch, ha sido un faro guía en el desarrollo de la IA. Esta teoría invita a mirar más allá de los componentes individuales de un sistema y a comprender cómo las interacciones entre estos elementos dan lugar a comportamientos emergentes y complejos. Esta teoría proporciona un marco conceptual poderoso para entender la IA, al reconocer que la inteligencia emerge de la interacción de muchos componentes simples y que los sistemas complejos son inherentemente adaptativos, se pueden desarrollar sistemas de IA más robustos, flexibles y capaces de aprender y evolucionar.

Finalmente, la Teoría de la Complejidad, al estudiar sistemas con muchas partes interconectadas y propiedades emergentes proporciona un marco para comprender cómo surge la inteligencia a partir de interacciones simples, permitiendo argumentar que la IA busca crear sistemas inteligentes que imiten la cognición humana, también, la Teoría de la Complejidad ayuda a comprender cómo los sistemas de IA pueden generar comportamientos complejos e inteligentes a partir de reglas simples, sin necesidad de programación explícita.

Referencias

Abraham, T. (2016). *Rebel Genius: Warren S. McCulloch's Transdisciplinary Life in Science*. Cambridge, MA and London: MIT Press.

Conferencia de Dartmouth. (1956). *Taller de Dartmouth sobre inteligencia artificial*. Documento disponible en: https://www.scribd.com/document/269016907/La-Conferencia-de-Dartmouth [02/01/2024].

Holland, J. (2014). *Complexity: A Very Short Introduction*. Documento disponible en: https://www.scribd.com/document/676464599/Complexity-A-Very-Short-Introd-John-H-Holland-Espan-ol [02/01/2024].

Ibáñez, J. (2020). *La Tecnociencia Como Sistema Complejo o No lineal: ¿Qué Significa?* Documento disponible en: https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2020/02/04/150116 [02/01/2024].

Martin, H. (2015). *Qué Son Los Sistemas Complejos?* Documento disponible en: https://www.martinhilbert.net/que-son-los-sistemas-complejos/ [02/01/2024].

McCulloch, W. (1943). *Embodiments of Mind*. The MIT Press, Cambridge, MA. Documento disponible en: https://dokumen.pub/qdownload/embodiments-of-mind-9780262631143.html [02/01/2024].

McCulloch, W. y Pitts, W. (1990). "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity". *Revista Bulletin of Mothemnticnl Biology*. (Vol. 52, No. l/2. p. 99-115). Disponible en https://www.cs.cmu.edu/~./epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf [02/01/2024].

Moriello, S. (2003). "Sistemas complejos, caos y vida artificial". *Revista RED Científica*. Documento disponible en: https://www.redcientifica.com/imprimir/doc200303050001.html [02/01/2024].

Torres, A. (2015). *Teoría de la Gestalt: leyes y principios fundamentales*. Documento disponible en: https://psicologiaymente.com/psicologia/teoria-gestalt [02/01/2024].

Turing, A. (1950). "Computing Machinery and Intelligence". *Revista Mind*. (Vol. 59, p. 433–460). Disponible en : https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238 [02/01/2024]