

EL MODELO NEURONAL DE McCULLOCH Y PITTS Interpretación Comparativa del Modelo

R. Prieto, A. Herrera, J. L. Pérez, A. Padrón.
Laboratorio de Computación Adaptativa, Centro de Instrumentos, UNAM.
Apdo. Postal 70-186, Coyoacán 04510, México D.F.
rpm@aleph.cinstrum.unam.mx

RESUMEN

Desde sus orígenes, las redes neuronales artificiales han demostrado ser de gran utilidad en ciertas aplicaciones. Esto ha contribuido, principalmente en fechas recientes, a estudiar los fundamentos teóricos de la dinámica de estos sistemas. El modelo neuronal de McCulloch y Pitts fue el primer modelo neuronal moderno, y ha servido de inspiración para el desarrollo de otros modelos neuronales. Sin embargo, en muchos de los estudios en que refieren a este modelo, no se interpreta correctamente el sentido que quisieron dar originalmente McCulloch y Pitts, atribuyéndole características o funciones que no fueron descritas por sus autores, o restándole importancia a la capacidad de procesamiento del modelo. Por otro lado, el modelo McCulloch-Pitts por si mismo está retomando importancia debido a que es uno de los pocos modelos digitales en tiempo discreto y, como para realizar implantaciones electrónicas o computacionales de las neuronas artificiales en la actualidad se utilizan sistemas digitales, con la mayoría de los modelos analógicos actuales es necesario realizar ciertas adaptaciones a los modelos al momento de implantarlos, lo que dificulta y hace imprecisa a dicha implantación con respecto al comportamiento teórico derivado del modelo. En este trabajo se hace una revisión del modelo neuronal de McCulloch y Pitts, para establecer sus alcances y limitaciones, para a partir de ellos poder desarrollar nuevos modelos neuronales discretos que tengan mayor capacidad de procesamiento y que puedan ser fácilmente implantados digitalmente.

ABSTRACT

Since they were created, artificial neural networks have proved to be useful in some applications. This has encouraged, mainly in recent times, to study theoretical fundamentals of dynamics of this kind of systems. The model proposed by McCulloch and Pitts was the first modern neural model, and has been taken as an inspiration to develop other neural models. However, in several papers referring to this model, the sense that originally McCulloch and Pitts wanted to set is not properly interpreted, assuming functions of characteristics that were not described by its authors, or decreasing its importance to the processing capacity of the model. On the other hand, McCulloch-Pitts model is getting importance because it is one of the few digital models working in discrete time and, in order to do electronic or computational implementations now a days digital systems are used, with most of the analog models it is necessary to adapt the model during implementation, which makes it difficult and becomes imprecise compared with the theoretical behavior. In this work we review McCulloch-Pitts model, to establish its capacity and limitations, to start from there to develop new discrete neural models with higher processing capacity and that can be easily implemented digitally.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las redes neuronales ha sido de gran interés para diversos grupos de estudio, en un principio desde el punto de vista biológico con la idea de poder explicar el funcionamiento del cerebro y de los procesos neuronales asociados, pero posteriormente también con el objetivo de desarrollar sistemas "inteligentes" que fueran capaces de desarrollar diversas actividades. Desde sus orígenes, las redes neuronales artificiales han demostrado ser de gran utilidad para ciertas aplicaciones. Esto ha contribuido, principalmente en fechas recientes, al interés por estudiar los fundamentos teóricos de la dinámica de este tipo de sistemas.

El modelo neuronal propuesto por Warren S. McCulloch y Walter Pitts en 1943 [1] fue el primer modelo neuronal moderno, y ha sido tomado como punto de partida para el desarrollo de muchos de los modelos neuronales actuales, además de que es utilizado como punto de referencia para evaluar el comportamiento de otros modelos. Sin embargo, en muchos de los estudios en que refieren a este modelo, no se interpreta correctamente el sentido que quisieron dar originalmente McCulloch y Pitts, atribuyéndole características o funciones que no fueron descritas por sus autores y que en realidad no posee, o bien restándole importancia a la capacidad de procesamiento del modelo. Por su parte, el modelo de McCulloch y Pitts por si mismo está volviendo a tomar importancia debido a que es uno de los pocos modelos digitales y que trabajan en tiempo discreto, a diferencia de la mayoría de los modelos actuales que son modelos analógicos, y debido a que para realizar implantaciones electrónicas o computacionales de las neuronas artificiales en la actualidad se utilizan sistemas digitales, resulta necesario realizar ciertas adaptaciones o aproximaciones numéricas a estos modelos neuronales al momento de implantarlos, lo que dificulta y hace imprecisa su implantación con respecto al comportamiento teórico esperado derivado del modelo.

Es por esto que surge el interés por hacer una revisión del modelo neuronal propuesto por McCulloch y Pitts, con la finalidad de hacer una correcta interpretación del modelo para establecer claramente sus alcances y limitaciones, para que se puedan tomar las características de este modelo como punto de partida para desarrollar nuevos modelos neuronales discretos que tengan mayor capacidad de procesamiento y que puedan ser fácilmente implantados digitalmente.

2. EL MODELO McCULLOCH-PITTS

La importancia de este artículo y la influencia que ha ejercido en el campo de las redes neuronales es inconmensurable. Es un intento por explicar que es lo que hace el sistema nervioso, a partir de un conjunto de primitivos elementos de cómputo que son abstracciones de las propiedades de las neuronas y de sus conexiones, con base en el conocimiento fisiológico y psicológico que se tenía de ellas en 1943, año en que fue publicado.

En este artículo, McCulloch y Pitts toman como objeto de estudio al cómputo realizado por las neuronas; es decir; no se ocupan de los aspectos fisiológicos y morfológicos de las neuronas, a pesar de que McCulloch tiene una serie de artículos donde estudia los aspectos fisiológicos de las neuronas, sino que se abocan a estudiar las características y capacidades computacionales del modelo que proponen, caracterizándolo como un dispositivo lógico; es decir, el área en la que se desarrolla este artículo es la lógica. De esta forma, el modelo neuronal es planteado a través de un modelo matemático. Esto se puede verificar fácilmente a partir de las referencias que ocupan, las cuales todas caen dentro de la lógica matemática. Esto trae como consecuencia que el lenguaje que ocupan para las descripciones de las características de su neurona sea totalmente matemático, siguiendo un gran formalismo en sus demostraciones y con una notación poco común, lo que hace muy complejo el entender los planteamientos del artículo.

McCulloch y Pitts parten de cinco consideraciones acerca del comportamiento de las neuronas. Dichas consideraciones las plantean de la siguiente forma:

1. La actividad neuronal es un proceso "todo o nada".
2. Un cierto número fijo de sinápsis debe ser excitado dentro de un período de adición latente en orden de excitar una neurona en cualquier intervalo de tiempo, y este número es independiente de la actividad previa y la posición de la neurona.
3. El único retardo significativo dentro del sistema es el retardo sináptico.

4. La actividad de cualquier sinápsis inhibitoria previene absolutamente la excitación de la neurona en ese intervalo de tiempo.
5. La estructura de la red no cambia con el tiempo.

Estas consideraciones describen a lo que se ha conocido como la neurona "McCulloch-Pitts".

De las consideraciones mostradas podemos extraer y resaltar lo siguiente. La neurona McCulloch-Pitts es un dispositivo binario, es decir, solo puede estar en uno de dos posibles estados. Cada neurona puede recibir entradas de sinápsis excitadoras, las cuales tienen todas un mismo peso. También pueden recibir entradas de sinápsis inhibitorias, cuya acción es absoluta; es decir, si la sinápsis inhibitoria está activa, la neurona no puede encender. Hay un lapso de tiempo dado fijo para la integración de las entradas sinápticas, basado en el retardo sináptico observado; esto le da a la neurona su carácter de trabajo en tiempo discreto.

Al hacer estas consideraciones, los autores comienzan trabajando con arreglos lineales de neuronas, es decir, consideran que no hay vías de retroalimentación entre neuronas, y parten de una serie de simplificaciones en las que consideran que el umbral de disparo en las neuronas adopta valores discretos, y que estos umbrales también se mantienen inalterados. Estas últimas consideraciones les permiten demostrar el funcionamiento de su neurona, para posteriormente demostrar que mediante la realización de diversos arreglos y conexiones de neuronas de este tipo, entre los que se encuentran algunos arreglos cíclicos de neuronas, es posible producir los mismos resultados que con neuronas con umbrales cambiantes con el tiempo.

El modo de operación de la neurona McCulloch-Pitts es simple. Durante el tiempo de integración, la neurona responde a la actividad de su sinápsis, la cual refleja el estado de las células presinápticas. Si no hay sinápsis inhibitorias activas, la neurona suma sus entradas sinápticas y verifica si la suma de ellas alcanza o excede su nivel de umbral. Si lo hace, entonces la neurona se vuelve activa. Si no, la neurona permanece inactiva. En caso de que exista alguna sinápsis inhibitoria activa, la neurona permanece inactiva.

3. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONALIDAD DEL MODELO

Para ilustrar la funcionalidad del modelo McCulloch-Pitts vamos a revisar el comportamiento de algunas neuronas. Para ilustrar esto vamos a utilizar la representación gráfica que utilizaron sus autores en el artículo que describe al modelo, el cual se muestra en la figura 1.

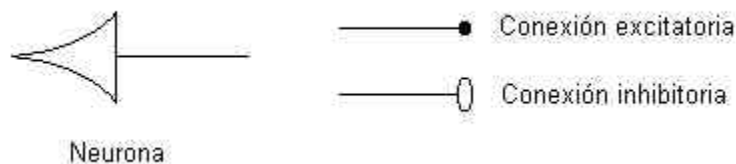


Figura 1. Representación gráfica de una neurona y sus tipos de conexiones.

Cabe mencionar que en la actualidad esta forma de representar a la neurona también ya cayó en desuso, sin embargo la utilizamos aquí simplemente para ilustrar las ideas originales de McCulloch y Pitts.

Un ejemplo de su funcionamiento lo podemos tener si consideramos una neurona de este tipo con dos sinápsis excitatorias a su entrada, considerando unitario el peso de cada una de estas

sinápsis, y supongamos que la neurona tiene un umbral de dos unidades. Si ninguna de las dos entradas se encuentra activa en un tiempo dado, o incluso si solamente una de ellas se encuentra activa y la otra no, la neurona no responderá; solamente cuando ambas sinápsis de entrada se encuentren activas la neurona podrá responder. Si revisamos cuidadosamente este comportamiento podremos identificar que corresponde al comportamiento de la función lógica AND. De la misma manera, si consideramos que la neurona ahora posee un umbral unitario, entonces ahora tendremos el comportamiento lógico OR. De esta misma forma es muy simple el implantar funciones lógicas, como se muestra en la figura 2.

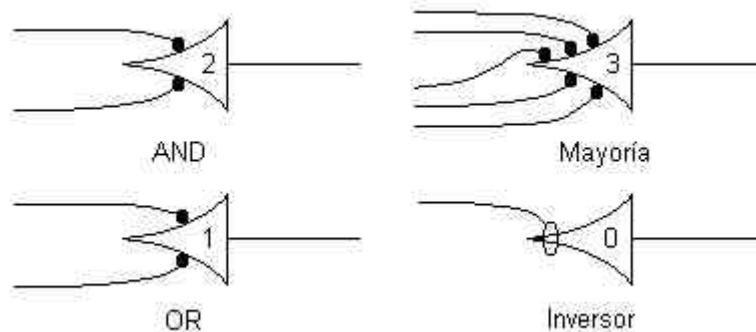


Figura 2. Algunos ejemplos de la implantación de funciones lógicas.

Entonces podemos decir que la neurona McCulloch-Pitts está realizando simple lógica de umbral. Como McCulloch y Pitts pusieron en su Introducción, *"La regla "todo o nada" de la actividad nerviosa es suficiente para asegurar que la actividad de cualquier neurona puede ser representada como una proposición. Las relaciones fisiológicas que existen entre las actividades nerviosas corresponden, desde luego, a relaciones entre las proposiciones; y la utilidad de la representación depende él la identidad de estas relaciones con aquellas de la lógica de proposiciones"*.

Como era obvio para McCulloch y Pitts, la red de conexiones entre las proposiciones simples pueden elevarlas a proposiciones muy complejas. El resultado central del artículo es que demuestran que cualquier expresión lógica finita puede ser realizada por neuronas del tipo que ellos proponen.

Esto fue un resultado muy interesante, debido a que mostró que elementos simples conectados en una red pueden tener un poder computacional inmenso. Debido a que los elementos estaban basados en la neurofisiología, sugiere que el cerebro era potencialmente un dispositivo lógico y computacional. Los resultados formales de acerca de las redes de elementos lógicos también influenciaron a otros cuando estaban pensando acerca del potencial de las computadoras digitales, por ejemplo, John von Neumann.

Desafortunadamente las pruebas formales y la notación usada en este artículo es excepcionalmente difícil de entender. Una mejor introducción a las neuronas McCulloch-Pitts, y en donde además extienden sus resultados y los coloca en la perspectiva del trabajo posterior de la teoría de autómatas y la teoría de la computación, es el libro de Marvin Minsky *Computation* [2]. Este libro desarrolla de forma clara y sencilla una teoría de la computación directamente de las neuronas McCulloch-Pitts.

Algo que era claro para McCulloch y Pitts aún cuando no lo mencionan de forma explícita, es que una sola neurona era demasiado simple, y que el poder computacional venía porque estas neuronas simples estaban insertas en un sistema nervioso interactuante. De esta forma, este

artículo describe uno de los primeros modelos verdaderamente conexionistas, debido a que tiene elementos simples de cómputo, acomodados parcialmente en paralelo, realizando operaciones poderosas con pesos de conexión apropiadamente construidos.

Una cuestión que hay que aclarar es si las neuronas McCulloch-Pitts son aproximaciones correctas a las neuronas reales, es decir, si ellas son un buen modelo cerebral. Este es un punto que es importante de aclarar, por que no hay que olvidar que el objetivo último de este artículo era precisamente dar una explicación acerca de las funciones realizadas dentro del cerebro. Dado el estado de la neurofisiología en 1943, cuando no eran claras las bases iónicas y eléctricas de la actividad neuronal, las aproximaciones hechas por McCulloch y Pitts eran mucho más soportables de lo que son ahora. La característica dominante de la actividad celular observada era el potencial de acción "todo o nada". No era posible tomar registros intracelulares, así que era difícil de ver que los potenciales postsinápticos, debido a la activación presináptica realmente se extendía por una buena cantidad de milisegundos, y que las neuronas actúan mas como convertidores frecuencia voltaje que como simples elementos lógicos. Los mismos McCulloch y Pitts estaban consientes de que muchos fenómenos continuos ocurrían en el sistema nervioso, incluso en la Introducción de su artículo comentan sobre la importancia de los cambios continuos en el umbral producidos en el proceso de adaptación y aprendizaje. Vale la pena mencionar esto solo porque aun ahora se pueden encontrar extensas discusiones en la literatura científica de las neuronas McCulloch-Pitts sugiriendo que ellas son modelos cerebrales adecuados y son aproximaciones útiles para la fisiología. Esto no es correcto. Las neuronas, a excepción de algunos casos especiales, no son simples dispositivos de cómputo que realizan proposiciones de la lógica formal. Sin embargo, las neuronas binarias pueden ser aproximaciones útiles de procesos continuos subyacentes en algunos casos especiales.

A pesar de su clara intención y orientación biológica, la inmensa influencia teórica de este artículo no se dio entre los neurocientíficos, sino dentro de las ciencias de la computación. Los resultados de este trabajo son motivantes desde el punto de vista del desarrollo teórico. A pesar de no ser correcto en detalle en el dominio original de aplicación, el resultado es un valioso trabajo de gran importancia.

La influencia de este modelo neuronal es clara en todos los primeros modelos neuronales, que en su conjunto formal lo que se le llama la primera generación de modelos neuronales, comúnmente referidos como *perceptrones* o compuertas de umbral, y que se caracterizan por su salida digital. Ejemplos de este tipo de modelos son los perceptrones multicapa, las redes de Hopfield y las máquinas de Boltzmann.

4. CONCLUSIONES

Hemos presentado el modelo descrito por W. McCulloch y W. Pitts, el cual fue propuesto para describir el tipo de operaciones que realizan las neuronas biológicas, al menos según los conocimientos que se tenían de las neuronas en aquellos días. Si bien es cierto que como modelo neuronal biológico el modelo McCulloch-Pitts no es adecuado para describirlas. Sin embargo, desde el punto de vista computacional, el modelo ha servido de inspiración para muchos modelos subsecuentes, y sigue sirviendo de paradigma dentro del campo de la Ingeniería Neuronal.

El potencial de este modelo aún ahora sigue siendo grande. A la fecha se siguen buscando nuevas formas de interpretar y aprovechar las características de este modelo (por ejemplo [3]), por lo que es perfectamente factible partir nuevamente de las ideas que propone para desarrollar nuevos modelos, donde de aproveche su capacidad de representación lógica y digital, que sean fácilmente implantables en los dispositivos digitales modernos.



5. REFERENCIAS

1. W. S. McCulloch y W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity", *Bull. Math. Biophys.*, **5**, 115-133, (1943).
2. M. L. Minsky, *Computation: Finite and Infinite Machines*, (Prentice Hall, N. J.), 286, (1967).
3. L. Zhang y B. Zhang, "A Geometrical Representation of McCulloch-Pitts Neural Model and Its Applications", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 10, (4), 925-929, (1999).