

# Caracterización del transporte eléctrico en dispositivos memristivos para la producción de *spikes*

March 29, 2021

**Lugar de trabajo:** Instituto Balseiro, UNCuyo - CNEA

**Director propuesto:** Pablo Levy

**Co-directora propuesta:** Cynthia Quinteros

## Abstract

Se propone un período de trabajo dedicado a familiarizar al/a la postulante con técnicas de transporte eléctrico en dispositivos electrónicos formados por estructuras capacitivas con propiedades de conmutación resistiva (dispositivos memristivos). Se hará hincapié en la búsqueda de un régimen de inestabilidad eléctrica que puede ser aprovechado como estrategia de producción de *spikes* de interés en un contexto más amplio de imitación de propiedades neuronales.

## Introducción

Los dispositivos memristivos son la realización experimental del concepto de memristor predicho por Chua [1]. La primera concreción de un dispositivo reconocido como tal<sup>1</sup> es de hace poco más de una década [2, 3]. Originalmente el interés por ellos radicaba en su aplicación como memorias no volátiles. Es decir, en la capacidad de almacenar distintos estados de resistencia en un dispositivo de dos terminales, escalable y de materiales compatibles con la plataforma tecnológica dominante del silicio. Posteriormente, el interés fue redefinido en función de lo que hoy en día se entiende por sistemas neuromórficos. Se trata de implementaciones cuya inspiración procede del funcionamiento de tejidos neuronales (biológicos). Una vertiente de este abordaje es la intención de conseguir componentes artificiales que sean capaces de cumplir las funciones atribuidas a los distintos componentes neuronales [4]. La neurona constituye la unidad básica de dichos tejidos y se encarga de coleccionar (mediante las dendritas) señales provenientes de celdas vecinas, ponderarlas (empleando para ello la mediación de las sinapsis) para categorizar su importancia relativa y emitir una señal (soma) en el caso en que la señal de entrada ponderada lo amerite, de manera de propagar el estímulo a las celdas vecinas (a través del axón). Habitualmente se identifica a los dispositivos memristivos con las sinapsis, es decir componentes artificiales que permiten conectar dos extremos (dos unidades conectadas a cada uno de sus dos electrodos) y en donde la importancia de la información que se transmite a través de ella viene modulada por el estado resistivo del dispositivo en cuestión. Se trata de un componente cuyos requerimientos son la capacidad de afectar el estado resistivo (programarlo) y mantenerlo (almacenarlo) por un tiempo determinado. En este contexto, todo el conocimiento desarrollado acerca de los dispositivos memristivos fue resignificado en términos de la implementación de sinapsis artificiales. Sin embargo, las restantes funcionalidades neuronales (tales como la decisión de si activarse o permanecer inactivo efectuada por el soma, la producción de un *spike* y la propagación del mismo) seguían siendo efectuadas por componentes tradicionales (transistores), con la consecuente complejidad para reducir las dimensiones y el consumo energético en general [5].

---

<sup>1</sup>Anteriormente había habido dispositivos que podría decirse que operaban de manera similar a como lo hacen los dispositivos actuales pero simplemente no eran explotados con esa funcionalidad.

## Contexto actual y pertinencia del tema

En la búsqueda de estrategias que permitan lograr una computación más eficiente, los sistemas neuromórficos se plantean como candidatos naturales. Se enuncia reiteradamente la eficiencia de los cerebros biológicos para la concreción de una infinidad de operaciones de diversa complejidad con un consumo energético muy envidiable en términos comparativos con los sistemas inteligentes artificiales actuales. Sin embargo, sentar las bases de una computación neuromórfica depende de la concreción de una serie de funciones por medio de dispositivos, materiales o sistemas compactos, sencillos y escalables. Es decir, lo que parece haberse logrado para las sinapsis con la adopción de los dispositivos memristivos sería también deseable para la función de activación neuronal y la producción de un estímulo en los casos correspondientes. En ese sentido, desde hace un tiempo, existen intentos por un lado de obtener dispositivos capaces de lograr estas respuestas eléctricas con diseños más compactos que las realizaciones actuales [6, 7] y, por el otro, de explotar fenómenos de conmutación volátil en dispositivos memristivos [8]. Estos dos aspectos pueden, en cierto punto, ser pensados como dos caras de la misma moneda. Por ejemplo: el proceso de emisión de un *spike* puede pensarse como una súbita conmutación que al cabo de un período de tiempo limitado revierte su condición y vuelve al estado original. Obtener y ser capaces de alterar la producción de ese tipo de conmutación es una forma de implementar con un dispositivo memristivo una funcionalidad diferente a la de la sinapsis [9]. Éste es el marco en el que se plantea el siguiente trabajo experimental.

## Propuesta

Más allá de la temática propuesta y su vigencia en el contexto actual de investigación científica, este plan tiene por principal objetivo la familiarización de la/del postulante con las técnicas de transporte eléctrico aplicadas al estudio de dispositivos memristivos. Se prevé que el proyecto complemente y apunte la formación adquirida en laboratorios precedentes y amplíe dichas capacidades mediante el abordaje de un proyecto de relevancia científica. Asimismo, el proyecto podría devenir en una participación de mayor duración en el grupo de trabajo de los directores. El proyecto en sí tiene por objeto caracterizar una serie de dispositivos memristivos disponibles bajo una variedad de estímulos (desde DC hasta pulsos). Para lograrlo, es preciso comprender en profundidad los instrumentos de medición y sus limitaciones. Para ello se cuenta con los siguientes equipos: multímetro Keithley 2450, conjunto 4 x SMU Keithley 4200, osciloscopio, medidor de impedancias. Si el tiempo y el interés de la/del postulante lo permitiese, se podría plantear el diseño de algún código propio para la adquisición de las mediciones previamente mencionadas.

## References

- [1] L. Chua, "Memristor-The missing circuit element," *IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. 18, pp. 507–519, Sept. 1971. Conference Name: IEEE Transactions on Circuit Theory.
- [2] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *Nature*, vol. 453, pp. 80–83, May 2008. Number: 7191 Publisher: Nature Publishing Group.
- [3] L. Chua, "Resistance switching memories are memristors," *Appl. Phys. A*, vol. 102, pp. 765–783, Mar. 2011.
- [4] S. Ramón y Cajal, *Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*. Editorial CSIC - CSIC Press, Mar. 1904.
- [5] G. Indiveri, B. Linares-Barranco, T. J. Hamilton, A. van Schaik, R. Etienne-Cummings, T. Delbruck, S.-C. Liu, P. Dudek, P. Häfliger, S. Renaud, J. Schemmel, G. Cauwenberghs, J. Arthur, K. Hynna, F. Folowosele, S. Saighi, T. Serrano-Gotarredona, J. Wijekoon, Y. Wang, and K. Boahen, "Neuromorphic Silicon Neuron Circuits," *Front. Neurosci.*, vol. 5, 2011. Publisher: Frontiers.
- [6] E. Chicca and G. Indiveri, "A recipe for creating ideal hybrid memristive-CMOS neuromorphic processing systems," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 116, p. 120501, Mar. 2020. Publisher: American Institute of Physics.
- [7] J.-Q. Yang, R. Wang, Z.-P. Wang, Q.-Y. Ma, J.-Y. Mao, Y. Ren, X. Yang, Y. Zhou, and S.-T. Han, "Leaky integrate-and-fire neurons based on perovskite memristor for spiking neural networks," *Nano Energy*, vol. 74, p. 104828, Aug. 2020.
- [8] R. Wang, J.-Q. Yang, J.-Y. Mao, Z.-P. Wang, S. Wu, M. Zhou, T. Chen, Y. Zhou, and S.-T. Han, "Recent Advances of Volatile Memristors: Devices, Mechanisms, and Applications," *Advanced Intelligent Systems*, vol. 2, no. 9, p. 2000055, 2020.
- [9] M. Lanza and collaborators, "Recommended Methods to Study Resistive Switching Devices," *Advanced Electronic Materials*, vol. 5, no. 1, p. 1800143, 2019.