

# MAGNONES: PERTURBACIONES MAGNÉTICAS QUE PROMETEN REVOLUCIONAR LA TECNOLOGÍA

Dr. Nicolás Vidal Silva

Dr. en Ciencias mención Física

Académico de la Universidad de La Frontera.



*Los magnones podrían mejorar el transporte de información y ayudar a la creación de dispositivos más eficientes energéticamente.*

La electrónica ha sido el motor de la tecnología durante décadas. Desde la invención del transistor en 1947 [1], esta ciencia ha permitido el desarrollo de dispositivos electrónicos cada vez más pequeños, transformando el mundo en que vivimos. Sin embargo, la electrónica convencional tiene sus limitaciones debido a que ésta se basa en el uso de corrientes eléctricas para su funcionamiento. Una corriente eléctrica está asociada a una disipación de energía en forma de calor, lo cual la convierte en un proceso poco eficiente a gran escala. Naturalmente, esto ha llevado a la búsqueda de nuevas formas de procesar y almacenar información. Los encargados de transportar la corriente eléctrica son los electrones. Estas partículas se caracterizan no solo por su carga y su masa, sino que también por su espín. El espín de un electrón es una propiedad cuántica y relativista de estas partículas que, entre otros efectos, permite caracterizar a los electrones por la respuesta que éstos tienen en presencia de un campo magnético. En otras palabras, los electrones pueden ser considerados como pequeños imanes. Más aún, si consideramos que los electrones están presentes en todos los átomos que componen nuestro mundo, podemos afirmar que estamos rodeados de pequeños imanes de tamaño atómico.

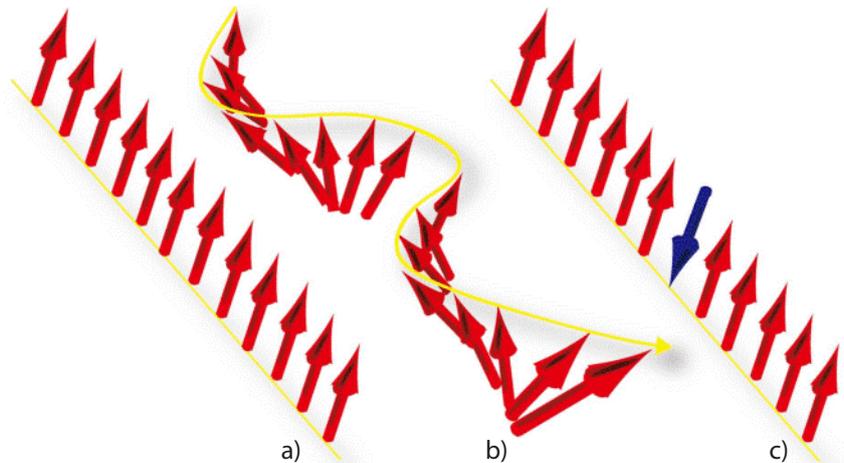
Desde hace algunas décadas, la electrónica convencional comenzó a utilizar tanto la carga eléctrica como el espín del electrón para determinados procesos. Esto dio inicio a la espintrónica [2]. En particular, dentro de esta rama de la física, los fenómenos espintrónicos que ocurren en materiales ferromagnéticos presentan mucho interés en la comunidad científica. Un material ferromagnético es aquel que

presenta una magnetización espontánea, es decir, presenta magnetismo sólo por el hecho de existir. Un ejemplo de esto son los imanes del refrigerador o algunos materiales como el Hierro (Fe), Cobalto (Co) o Níquel (Ni). Desde el punto de vista microscópico, un material ferromagnético se caracteriza por tener un ordenamiento de espines, es decir, los pequeños imanes que mencionamos anteriormente se encuentran ordenados y, además, son capaces de alinearse con un campo magnético externo (Ver Figura 1a). La pregunta ahora es: ¿Cómo podemos transportar, almacenar y controlar información en este tipo de materiales? La respuesta proviene de la perturbación al magnetismo.

Cuando un material ferromagnético se perturba bajo ciertas condiciones a través de un medio externo, los espines del

material comienzan a oscilar de forma coherente dando lugar a ondas magnéticas, comúnmente llamadas ondas de espín. Desde el punto de vista de la mecánica cuántica, estas ondas tienen su análogo cuántico, definiendo así una pseudo partícula llamada magnón.

Por lo tanto, en analogía a las ondas electromagnéticas (luz) y su pseudo-partícula cuántica, el fotón, las ondas de espín tienen su descripción cuántica a través de la definición de magnón (ver Figura 1b y 1c). Los magnones cobran sentido cuando un sistema de muchos espines comienza a oscilar debido a la perturbación de su orden magnético. En este artículo, hablaremos sobre cómo los magnones, pequeñas partículas magnéticas, podrían revolucionar la tecnología de la información [3].



**Figura 1**

Representación esquemática de ondas de espín. En a) se encuentra un sistema con ordenamiento magnético completo. En b) el ordenamiento se ha perturbado y se representa la propagación de una onda de espín. Finalmente, en c) se representa la presencia de un magnón desde un punto de vista clásico, considerado como una única desviación de un espín. Imagen extraída de [4]

A diferencia de los electrones, los magnones poseen mecanismos distintos de disipación de energía, lo cual permite que puedan transportarse una distancia mayor sin perder información. Por ejemplo, el camino libre medio de un electrón se define como la distancia que un electrón puede viajar sin interactuar y/o colisionar con otra partícula que cambie sustancialmente su movimiento. Típicamente, en un metal el camino libre medio de los electrones es del orden de unos pocos nanómetros [5] ( $10^{-9}$  metros, o bien una mil millonésima parte de un metro). Sin embargo, debido a la naturaleza de los magnones, estos poseen un camino libre medio del orden de los micrómetros ( $10^{-6}$  m) [6] o en algunos casos llegando incluso a los milímetros ( $10^{-3}$  m).

Es decir, ¡Los magnones podrían transportar información sobre distancias de hasta un millón de veces más grandes que los electrones! Por lo tanto, estas cuasipartículas presentan una ventaja comparativa con respecto a los electrones para su potencial uso en el transporte de información.

Además, muy recientemente, se ha descubierto una característica fundamental de los magnones presentes en ciertos tipos de materiales ferromagnéticos, los llamados magnones topológicos. Este tipo de magnones se encuentran presentes al perturbar el orden magnético de un material que se encuentra en una fase topológica. En términos muy simples, los magnones topológicos son aquellos que pueden propagarse sin ser afectados por las perturbaciones externas, es decir, poseen un camino libre medio sustancialmente mayor a los magnones regulares. Estos magnones están protegidos por la topología del material en el que se propagan, lo que significa que la información que transportan no se pierde debido a los defectos o irregularidades del material. Los magnones topológicos tienen un gran potencial para la creación de dispositivos magnónicos estables y resistentes

a perturbaciones. Además, en términos prácticos, los magnones topológicos se caracterizan por propagarse solamente a través de los bordes de un material magnético, mientras que dentro del material su propagación se encuentra sujeta a energías mucho mayores, por lo que está prohibida (ver Figura 2). En otras palabras, los magnones topológicos son robustos ante perturbaciones externas y además se propagan físicamente por caminos exclusivos, lo que permitiría transportar y manejar información en potenciales dispositivos magnónicos.

Las potenciales aplicaciones de los magnones son numerosas. Se podrían utilizar para el desarrollo de dispositivos de memoria magnónica, que podrían ser más rápidos y eficientes que los dispositivos de memoria convencionales. También podrían utilizarse para la creación de dispositivos de procesamiento de información magnónica, como los transistores basados en magnones, que podrían superar las limitaciones de los transistores electrónicos convencionales.

Sin embargo, todavía hay importantes desafíos a futuro que enfrentar para lograr una tecnología magnónica viable. Uno de los mayores desafíos es la pérdida de energía que se produce cuando los magnones se propagan a través de los materiales magnéticos. Esto se debe en gran parte a la resistencia de los materiales a la propagación de magnones debido a la presencia de otros magnones, imperfecciones del material, electrones, deformaciones, etc. Para superar este obstáculo, los investigadores están trabajando en el desarrollo de materiales magnéticos con una menor resistencia a la propagación de magnones.

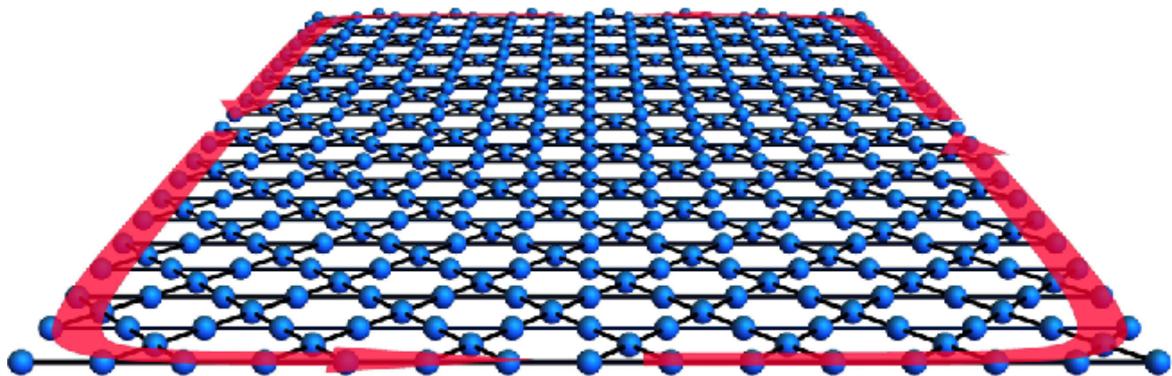
Otro desafío importante es la generación y detección eficiente de magnones. En la actualidad, la generación y detección de magnones se realiza principalmente a través de métodos de microondas, que son limitados en términos de eficiencia y pre-

cisión. Investigadores de todo el mundo trabajan actualmente en el desarrollo de nuevos métodos de generación y detección de magnones que sean más eficientes y precisos.

En conclusión, los magnones son cuasipartículas que describen las ondas de espín en los materiales magnéticos. El estudio de los magnones ha llevado a una mejor comprensión de la dinámica de los materiales magnéticos y ha abierto nuevas posibilidades para aplicaciones tecnológicas. Los dispositivos magnónicos podrían ser utilizados para la transmisión de información a alta velocidad y con un consumo de energía reducido, y los magnones topológicos tienen el potencial de ser utilizados en la creación de dispositivos magnónicos más robustos y eficientes energéticamente. La magnónica entonces es un campo de investigación emocionante con importantes aplicaciones potenciales en la tecnología de la información. Los materiales magnéticos y la mecánica cuántica son fundamentales para la comprensión y aplicación de los magnones en la tecnología magnónica. Aunque todavía existen importantes desafíos a futuro que deben superarse, los avances recientes en la comprensión y manipulación de magnones prometen un futuro prometedor para la tecnología de información.

## Referencias

- [1] Ross, I. M., Proceedings of the IEEE 86, 7-28 (1998).
- [2] Bader, S. D. et. Al., Annu. Rev. Condens. Matter Phys., 1(1), 71-88 (2010).
- [3] Pirro, P., et.al., Nature Reviews Materials, 6(12), 1114-1135 (2021)
- [4] Nakata, K., et.al., Journal of Physics D: Applied Physics, 50(11), 114004 (2017).
- [5] Sondheimer, E. H, Advances in physics, 50(6), 499-537 (2001).
- [6] Boona, S. R., et.al., Physical Review B, 90(6), 064421 (2014).
- [7] Cornelissen, L. J., et.al., Nature Physics, 11(12), 1022-1026 (2015).
- [8] Chisnell, R., et.al., Physical review letters, 115(14), 147201 (2015).



**Figura 2**

Representación esquemática de magnones topológicos propagándose exclusivamente por el borde de un material magnético bidimensional. Desde un punto de vista de la mecánica cuántica, estos magnones tienen prohibido propagarse a través del material. Imagen extraída de [8].