

# ESTABILIDAD DEL MODO DE REVERSIÓN WAVE EN NANOTUBOS FERROMAGNÉTICOS DE PERMALLOY EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE SUS DIAMETROS

Arciniegas Jaimes Diana M.<sup>1</sup>, Broens Martín<sup>1</sup>, Escrig Juan<sup>2,3</sup>, Saavedra Eduardo<sup>2,3</sup> y Bajales Luna Noelia<sup>1</sup>



<sup>1</sup>IFEG-FaMAF | Instituto de Física Enrique Gaviola - Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) - Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Av. Medina Allende s/n, Ciudad Universitaria, 5000, Córdoba.



<sup>2</sup>USACH | Universidad de Santiago de Chile - Departamento de Física. 9170124, Santiago, Chile.

<sup>3</sup>CE DENNA | Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y la Nanotecnología. 9170124, Santiago, Chile.

Contacto ✉ | diana.arciniegas@unc.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

En general, el mecanismo de reversión de la magnetización en un nanotubo (NT) magnético es típicamente descrito en términos de modos ampliamente conocidos como *Vortex*, *Transverse* y *Coherent* (Figura 1).

Recientemente, se ha mostrado que cuando un NT de Permalloy (Py) ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) es expuesto a un campo magnético externo ( $\vec{H}$ ), perpendicular a su eje de fácil magnetización ( $\theta = 90^\circ$ ), exhibe un modo de reversión novedoso de la magnetización denominado *wave* [1, 2]. Este mecanismo se caracteriza por presentar curvas de histéresis compuestas por dos triángulos opuestos, los cuales se evidencian para ciertos parámetros geométricos del NT (Figura 2), tales como el diámetro externo,  $2R$ , longitud,  $L$ , espesor de pared,  $d_w$ , y diámetro interno,  $a$  ( $a = 2(R - d_w)$ ).

En este trabajo, se profundiza el estudio mediante simulaciones micromagnéticas, explorando la estabilidad del modo *wave* [2] de un NT de Py en función del parámetro  $\beta$  ( $\beta = a/2R$ ). En este contexto, un mayor entendimiento de este comportamiento contribuirá al estudio de NTs modulados.

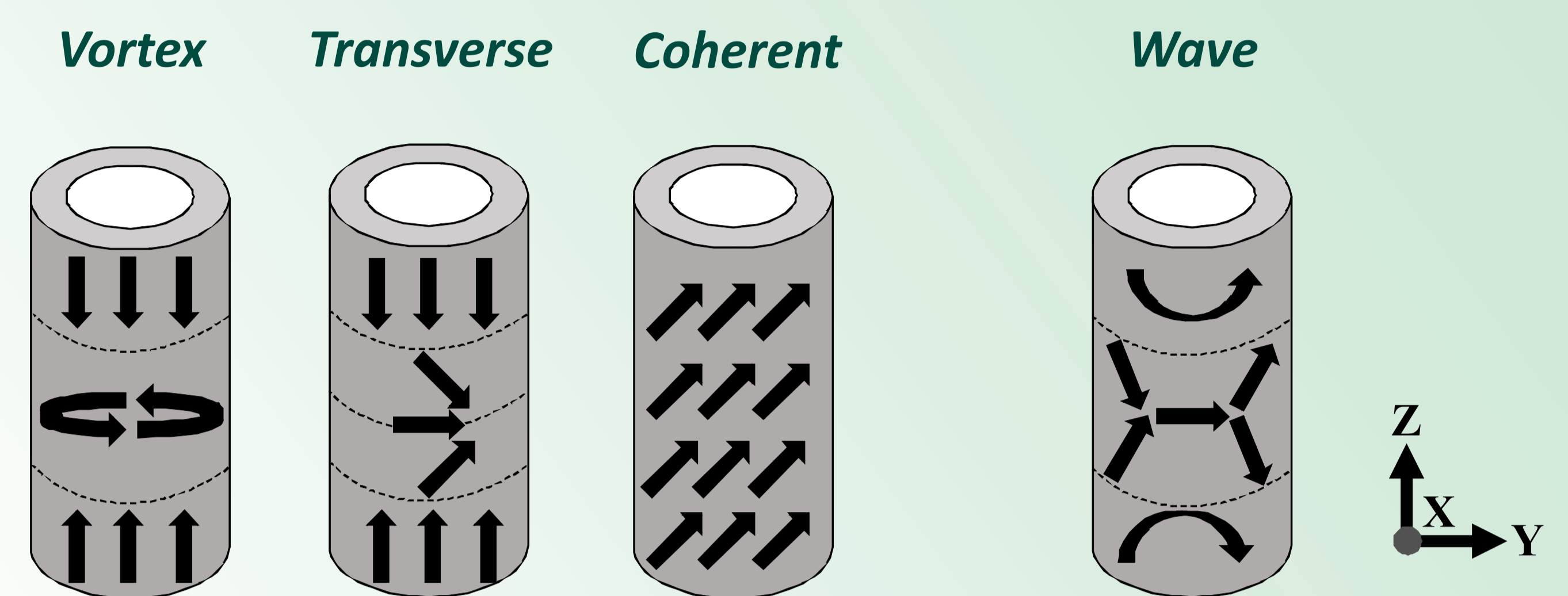


Figura 1. Modos típicos de reversión de la magnetización y modo *wave* en NT.

Las simulaciones micromagnéticas se llevaron a cabo mediante la resolución de la ecuación que describe la dinámica de la magnetización en el tiempo (Ec. de Landau-Lifshitz-Gilbert), empleando para ello el software de código abierto OOMMF [3].

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma\vec{M} \times H_{eff} + \frac{\alpha}{M_s} \vec{M} \times \frac{d\vec{M}}{dt}$$

Ec. de Landau-Lifshitz-Gilbert

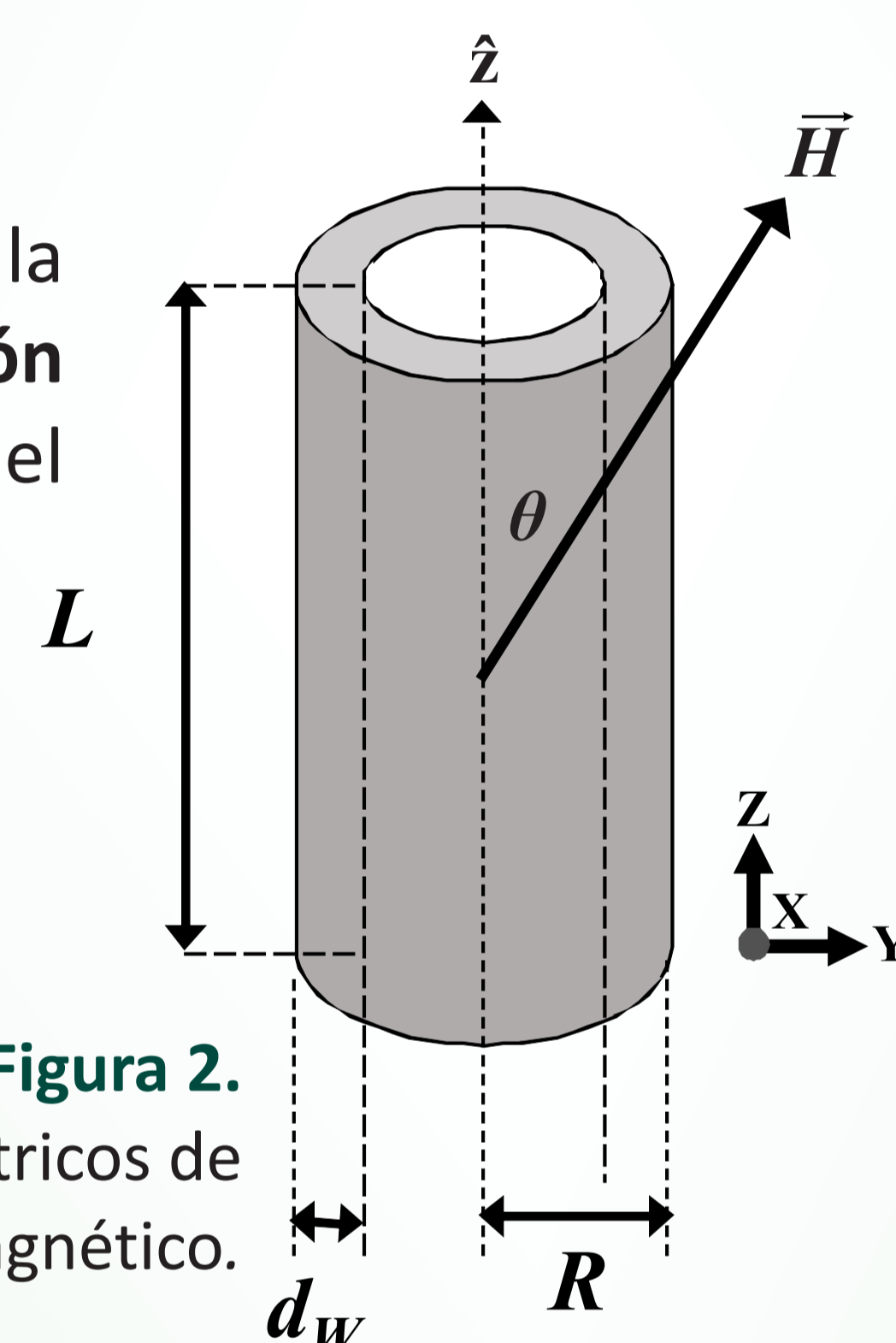


Figura 2. Parámetros geométricos de un NT magnético.

## SIMULACIONES MICROMAGNÉTICAS

Tabla 1. Principales parámetros de simulación

Parámetros	Valores			
$\beta$ ( $2R = 100$ nm)	0,65	0,70	0,75	0,80
Longitud del nanotubo ( $L$ )	1 $\mu\text{m}$			
Constante de intercambio ( $A$ )	$13 \times 10^{-12}$ J m <sup>-1</sup> (Py)			
Magnetización de saturación ( $M_s$ )	$800 \times 10^3$ A m <sup>-1</sup> (Py)			
Coefficiente de amortiguamiento ( $\alpha$ )	0,5			
Tamaño de celda	$(2 \times 2 \times 10)$ nm <sup>3</sup>			

## RESULTADOS

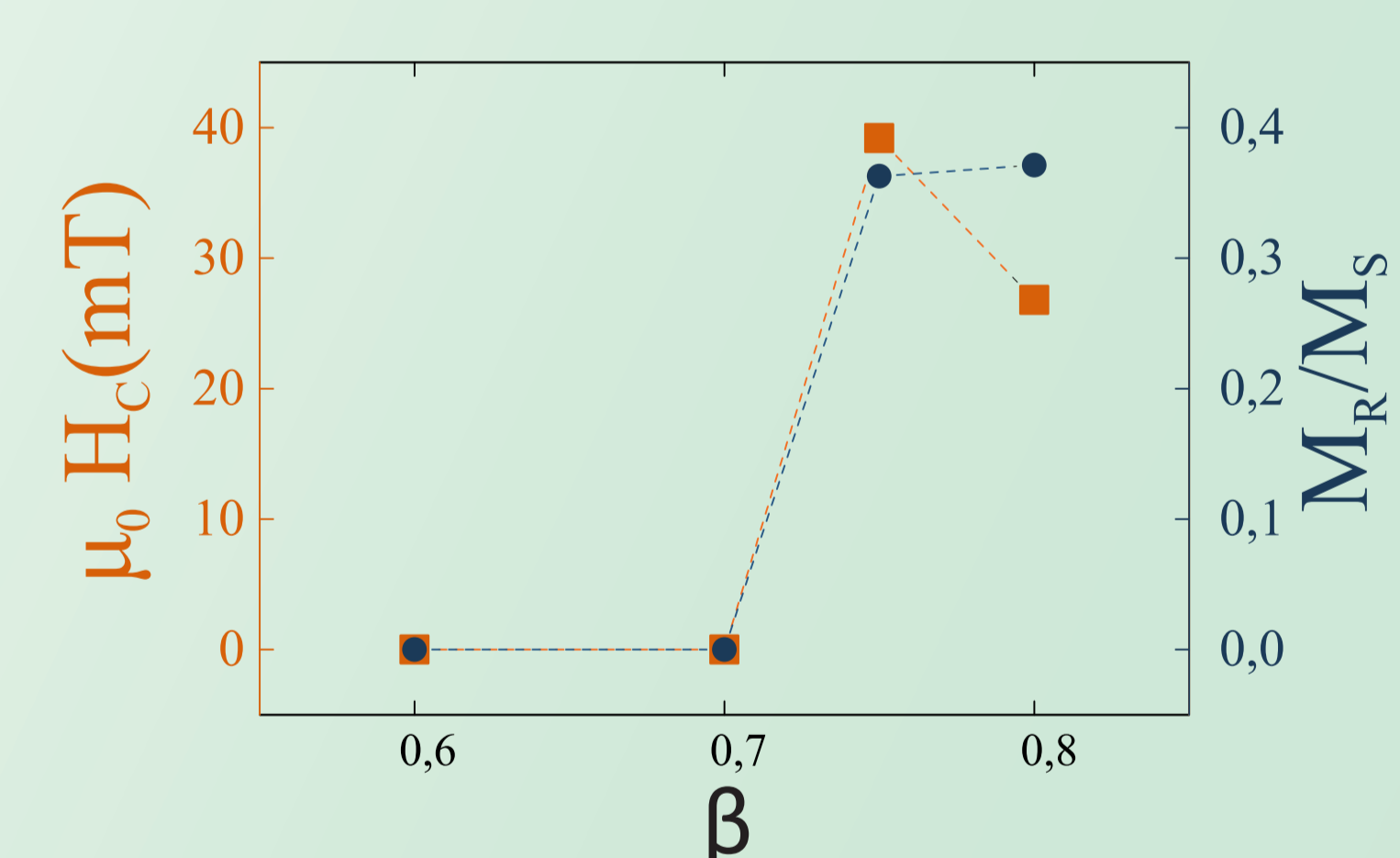
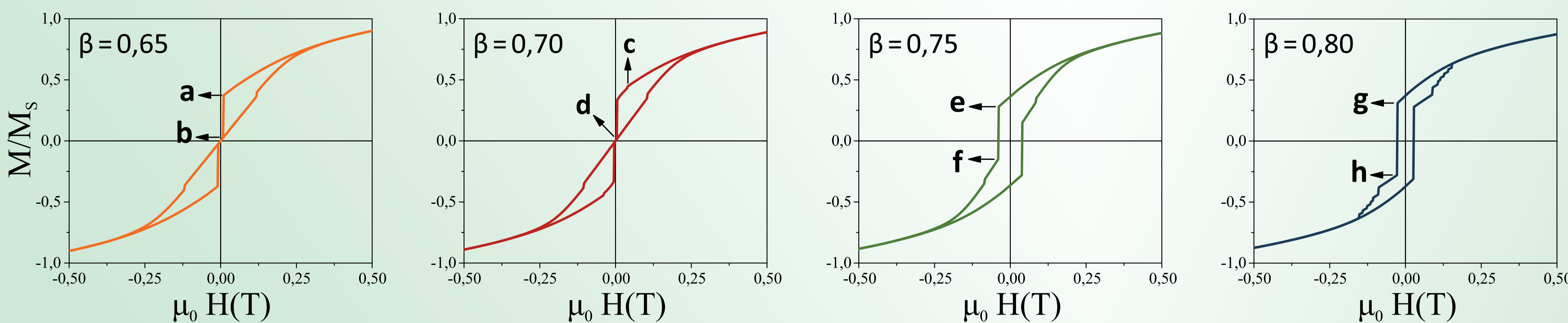


Figura 4. Coercitividad ( $H_c$ ) y Magnetización de remanencia ( $M_r$ ) en función de  $\beta$ .

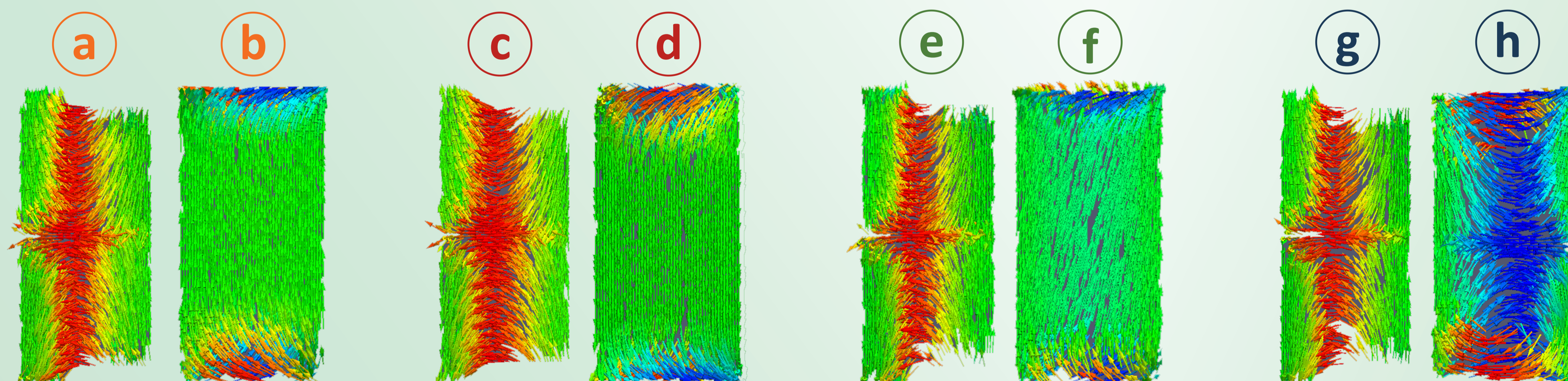


Figura 3. Panel superior: Curvas de histéresis para distintos valores de  $\beta$ ; Panel inferior: Representaciones del comportamiento de los momentos magnéticos en un NT de Py.

## CONCLUSIONES

El modo *wave* sigue operativo para valores de  $\beta$  menores y mayores al reportado ( $\beta = 72/100 = 0,72$ ) [2]. El presente estudio, el cual aporta al entendimiento de NTs modulados, se encuentra en actual desarrollo para otros valores de  $\beta$ .

## REFERENCIAS

- [1] S. Raviolo *et al.* J. Magn. Magn. Mater. **2020**, 497, 165944.  
[2] Arciniegas Jaimes *et al.* J. Magn. Magn. Mater. **2021**, 523, 167578.  
[3] M. J. Donahue and D. G. Porter, NISTIR 6376, **1999**. (<https://math.nist.gov/oommf/>).

## AGRADECIMIENTOS



Proyecto Basal  
AFB180001

