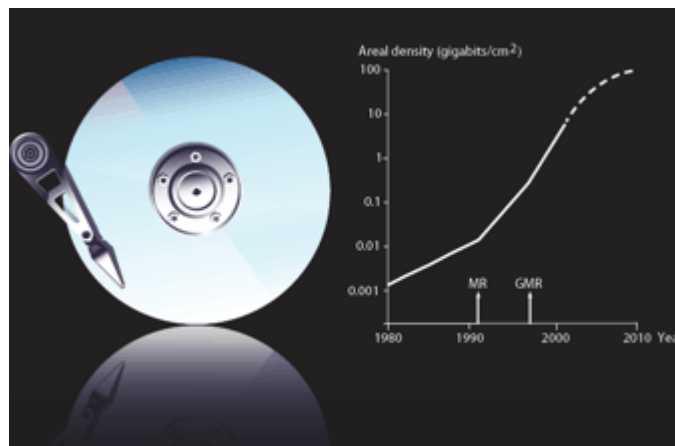


## El premio Nobel de Física 2007

El Premio Nobel de Física de este año ha sido concedido a **Albert Fert** y a **Peter Grünberg** por su descubrimiento de la **Magnetorresistencia Gigante**. Las aplicaciones de este fenómeno han revolucionado las técnicas para leer datos de los discos duros. El descubrimiento también tiene una gran importancia en el desarrollo de una nueva generación de sensores magnéticos. La magnetorresistencia gigante puede ser considerada como una de las principales aplicaciones de la nanotecnología.

### Mejores cabezas lectoras para dispositivos electrónicos de bolsillo.

La constante miniaturización de los dispositivos electrónicos es algo cotidiano en el mundo de las tecnologías de la información. La continua aparición en el mercado de ordenadores cada vez más potentes y ligeros es algo a lo que todos comenzamos a acostumbrarnos. En particular, los discos duros son cada vez más pequeños (la aparatosa caja situada debajo de la mesa pronto será historia cuando la misma información pueda ser fácilmente almacenada en delgados ordenadores portátiles). Poca gente se para ya a pensar cuantos CDs de música caben en los minúsculos discos duros de nuestros reproductores de música de bolsillo. Recientemente la máxima capacidad de almacenaje de los discos duros domésticos se ha elevado a un terabyte ( $10^6$  MB o  $10^{12}$  bytes)



El diagrama que muestra la evolución de la miniaturización, puede dar una falsa impresión de simplicidad (como si este desarrollo obedeciera a una ley natural) Realmente la revolución de las tecnologías de la información (IT) depende de una complicada interacción entre los avances científicos y las capacidades técnicas. De eso precisamente trata el Premio Nobel de Física del año 2007.

Los ordenadores portátiles, reproductores de música o las potentes máquinas de búsqueda, todo requiere discos duros en los que gran cantidad de información es almacenada, lo que requiere una elevada densidad de empaquetamiento de dicha información. La información en un disco duro es almacenada como áreas magnetizadas. Una cierta dirección de magnetización se corresponde con un cero (lenguaje binario) y otra dirección con un uno. Para recuperar la información la cabeza lectora escanea el disco y registra las áreas de magnetización. A medida que los discos se vuelven más y más pequeños, las áreas magnetizadas van siendo también más pequeñas. Esto significa que los campos magnéticos son cada vez más débiles y, en consecuencia, más difíciles de leer. Discos duros más compactos, requieren, por tanto, cabezas lectoras más sensibles.

Hacia el final de los años 90, una tecnología totalmente nueva se convirtió en el estándar para las cabezas lectoras de discos duros. Ello fue de crucial importancia para acelerar la miniaturización de los discos duros que hemos podido contemplar en los últimos años.

La tecnología actualmente usada para los lectores está basada en un efecto físico que los laureados este año observaron hace ya cerca de veinte años. El francés **Albert Fert** y el alemán **Peter Grünberg**, de forma simultánea e independientemente, descubrieron la llamada **Magnetorresistencia Gigante (GMR)**. Por este descubrimiento reciben el Premio Nobel de Física 2007.

### De Lord Kelvin a la nanotecnología

Inicialmente en la fabricación de los lectores fueron usadas las bobinas, aprovechando el hecho de que las variaciones de un campo magnético inducen corrientes en ellas. Aunque esta tecnología no es compatible con la actual miniaturización de los discos duros, la inducción de corrientes eléctricas en bobinas se usa todavía para escribir información en los discos. Sin embargo, para su lectura la magnetorresistencia proporcionó mejores resultados.

Es suficientemente conocido que la resistencia eléctrica de algunos materiales como el hierro, puede ser influenciada por un campo magnético. En 1857, el físico británico Lord Kelvin publicó un artículo en el que se mostraba como la resistencia de un conductor disminuye a lo largo de las líneas de magnetización cuando se aplica un campo magnético. Sin embargo, aumenta si el conductor se sitúa cruzado respecto de las líneas de campo. Esta magnetorresistencia (anisótropa) (MR) fue la predecesora de la magnetorresistencia gigante en la fabricación de cabezas lectoras. La GMR apareció justo en el momento en el que tecnologías mucho más precisas eran necesarias.

Un prerequisite imprescindible para el descubrimiento del efecto GMR venía dado por la posibilidad de obtener finísimas láminas de metal de espesor del orden de nanómetros, lo cual se consiguió en los años 1970s. Un nanómetro es  $10^{-9}$  m (mil millonésima parte de un metro, una millonésima de milímetro) y láminas de este espesor contendrán solamente unas pocas capas de átomos. A nivel atómico la materia presenta un comportamiento bastante diferente que a escala macroscópica, de aquí que las estructuras a escala nanométrica presentan a menudo propiedades totalmente nuevas. Esto es cierto no sólo para propiedades tales como la conductividad eléctrica o magnética también lo es para propiedades químicas u ópticas. En este sentido la tecnología GMR fue considerada como una de las primeras aplicaciones de la nanotecnología, tan popular hoy día en campos muy diversos de la ciencia.

### Resistencia y magnetización

En un conductor la electricidad es transportada por electrones que pueden moverse libremente a través del material. La corriente pasa debido a que los electrones se mueven en una determinada dirección, marcada por la trayectoria recta de los electrones, la de mayor conductividad del material. La resistencia eléctrica es debida a que los electrones chocan contra las irregularidades e impurezas del material. Si muchos electrones son desviados de su trayectoria, la resistencia es alta.



*La resistencia eléctrica de un conductor es debida a los choques de los electrones contra irregularidades del material lo cual dificulta su avance.*

En un material magnético la dispersión de los electrones (debida a los choques) es influenciada por la dirección de magnetización. La fuerte conexión entre magnetización y resistencia encontrada en la GMR se presenta como consecuencia de que el spin del electrón (momento magnético interno) puede orientarse en sentidos

opuestos. En un material magnético, la mayoría de los espines apuntan en la dirección paralela al campo. Un pequeño número de electrones tienen, sin embargo sus espines orientados en sentido contrario (sentido antiparalelo). Es importante señalar que los electrones con diferente spin son dispersados de forma diferente al encontrarse con irregularidades e impurezas y, especialmente, en la interface entre materiales distintos. Las propiedades de los materiales determinarán que tipo de electrones es más fuertemente dispersado.

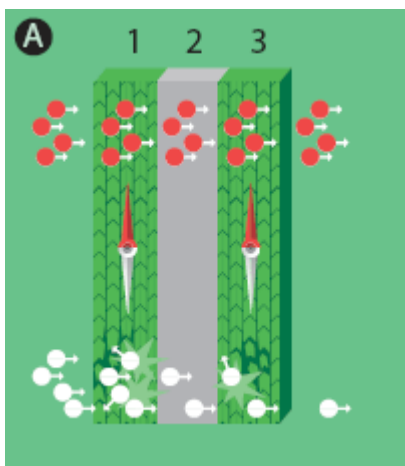


*En un conductor magnetizado la dirección de los espines de la mayoría de los electrones es paralela a la dirección de magnetización (rojos). Una minoría de electrones tiene spin orientado en sentido contrario (blancos). En este ejemplo los electrones con spin antiparalelo son más fuertemente dispersados.*

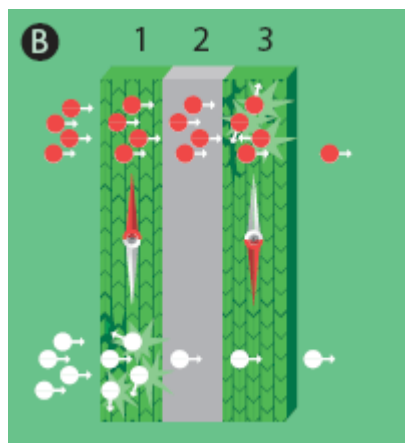
### Magnetorresistencia gigante GMR

Un sistema bastante simple en el que puede observarse el efecto GMR puede ser el siguiente: una lámina de un material no magnético se introduce entre dos láminas de material magnético formando una estructura tipo sándwich. En el interior del material magnético, y especialmente en la interface entre el material magnético y el no magnético, los electrones son dispersados de forma diferente según el sentido de su spin. Aquí se muestra el caso en el cual los electrones con spin antiparalelo son más fuertemente dispersados. Esto implica que la resistencia será mayor para estos electrones que para aquellos que tengan spin paralelo. Cuando a continuación penetren en la lámina de material no magnético, todos ellos serán dispersados de idéntica forma, independientemente de cómo esté orientado su spin. En la segunda interface y en el interior de la lámina de material magnético los electrones con spin antiparalelo vuelven a ser más intensamente dispersados.

Si ambas láminas son magnetizadas en la misma dirección la mayoría de los electrones con spin paralelo atravesarán fácilmente la estructura. La resistencia total será baja (figura A). Sin embargo si la magnetización de las dos laminas es opuesta, todos los electrones se encontrarán orientados antiparalelamente al campo en alguna de las dos láminas. esto significa que los electrones no se moverán a hora fácilmente a través de la estructura y la resistencia será ahora alta (Figura B). Pensemos ahora en cómo usar esta estructura para una cabeza lectora de discos duros. La magnetización de la lámina (1) es fija, mientras que la magnetización de la lámina (3) puede variar y puede ser influenciada por los campos magnéticos variables del disco duro. La magnetización de las dos láminas de la cabeza lectora puede ser paralela o antiparalela. Esto conduce a una variación en la resistencia de la corriente que atraviesa la cabeza lectora. Si la corriente es intensa significa un uno (binario) y una corriente débil significa cero.



*Si el sentido de magnetización es idéntico en ambas láminas, los electrones con spin paralelo (rojos) pasan a través del sistema sin sufrir dispersión. La resistencia total del sistema sería pequeña.*



*Si el sentido de magnetización de las dos láminas es opuesto, todos los electrones tendrán spin antiparalelo en una de las láminas y entonces serán fuertemente dispersados. Como resultado la resistencia total será alta.*

## GMR se transforma rápidamente en un estandar

Fue a mediados de los 1980s cuando los científicos se dieron cuenta de las nuevas posibilidades que las capas de tamaño nanométrico podían ofrecer. **Albert Fert** y sus colaboradores, lograron juntar treinta placas de hierro y cromo, dispuestas alternativamente, cuyo espesor era tan sólo de unos pocos átomos. Para lograrlo tuvieron que trabajar prácticamente en el vacío usando hierro y cromo gaseosos a presiones muy bajas. En tales condiciones los átomos fueron uniéndose entre ellos para formar la lámina capa a capa. De una forma similar el grupo de **Peter Grünberg** creó un sistema sumamente simple de sólo dos o tres capas de hierro con una capa de cromo entre ellas a modo de sandwich.

Quizás porque había usado bastantes capas, **Fert** registró una magnetorresistencia más elevada que **Grünberg**. El grupo francés midió variaciones en la resistencia, debidas a la magnetización, de un 50 %, mientras que el grupo alemán midió sólo un 10 %. El efecto básico y el comportamiento físico del sistema fue, sin embargo, idéntico en ambos casos. Ambos grupos se dieron cuenta de que habían observado un fenómeno totalmente nuevo. La magnetorresistencia “normal” produce variaciones de la resistencia de apenas un 1%. **Albert Fert** fue el primero que acuñó el concepto de magnetorresistencia gigante para describir el nuevo efecto y en su primera publicación señalaba las importantes aplicaciones que podría tener. **Peter Grünberg** también comprendió las potenciales aplicaciones del fenómeno que patentó al mismo tiempo que escribía el artículo para su publicación.

Para que la nueva tecnología pudiera ser comercializada era imprescindible encontrar un proceso industrial para crear las finísimas placas. El método utilizado por **Fert** y **Grünberg** (conocido como epitaxial), era costoso y sumamente laborioso, más indicado para un laboratorio de investigación que para un proceso industrial a gran escala. Por ello un paso definitivo se dio cuando Stuart Parkin, un inglés que trabajaba en EE.UU demostró que era posible producir el mismo efecto usando una tecnología mucho más simple llamada sputtering. Actualmente el efecto GMR ya no depende de la producción de láminas perfectas. Esto significa la posibilidad de producir sistemas GMR a escala industrial. El proceso industrial combinado con la gran sensibilidad de las cabezas GMR transformó la nueva tecnología en un estandar para los discos duros poco después de que el primer lector GMR fuera producido en 1997.

## La nueva electrónica: la spintrónica

La GMR significó, no sólo una verdadera revolución en la lectura de la información empaquetada en los discos duros (y para sensores magnéticos y otras aplicaciones), probablemente también constituya el primer paso en el desarrollo de un tipo completamente nuevo de dispositivos electrónicos (dubbed spintronics) en los que se utiliza el spín de los electrones (y no sólo su carga eléctrica como en los dispositivos tradicionales). Un requisito básico de la spintrónica es el acceso a las dimensiones ínfimas que maneja la nanotecnología. La orientación del spín electrónico sólo se mantiene invariable para distancias muy cortas; en láminas más gruesas la orientación del spín cambiaría antes de que las propiedades dependientes de su orientación (como la mayor o menor resistencia) pudieran ser utilizadas.

Últimamente sistemas similares han sido construidos usando materiales aislantes, por ejemplo metales no magnéticos, dispuestos en sándwich entre dos láminas de metales magnéticos. La corriente eléctrica no podría, en principio, atravesar la placa aislante, pero si ésta es suficientemente delgada es posible que pueda ser atravesada por los electrones mediante un efecto cuántico llamado “efecto túnel “ (tunneling).

Este nuevo sistema es conocido como **TMR (Tunneling Magnetoresistance)**. Con el TMR pueden ser creadas aún mayores diferencias en la resistencia por campos magnéticos muy débiles, la próxima generación de lectores usará esta tecnología.

## Hacia una memoria universal

Otras de las aplicaciones de la spintrónica, que realmente está comenzando a emerger, es una memoria de trabajo llamada **MRBM**.

Como complemento del disco duro, en el que la información es almacenada de forma permanente, los ordenadores necesitan una memoria de trabajo rápida. Es la memoria de acceso aleatorio (random access memory o memoria RAM). En la memoria RAM los ordenadores almacenan toda la información que necesitan para poder procesar la información con la que trabajan. El sistema de almacenamiento del estandar de las memorias RAM usado hoy día, hace imposible almacenar de manera permanente la información. Cuando se comienza a escri-

bir un texto en un ordenador es almacenado en la memoria RAM. Si se corta el suministro eléctrico o se apaga el ordenador, sin salvarlo, el texto se pierde. Solamente presionando el botón salvar, el texto puede ser almacenado en el disco duro.

La memoria MRAM hace posible usar la TMR tanto para leer como para escribir información lo que daría lugar a un ordenador en el cual la memoria sería rápida y fácilmente accesible. MRBM podría ser usada como una memoria RAM, mucho más rápida que el disco duro, pero que sería permanente. Esto significa que MRBM podría convertirse en una memoria universal que podría reemplazar a la tradicional memoria RAM y a los discos duros. Un sistema de este tipo tendría un alto grado de compacidad y puede ser particularmente útil en pequeños sistemas informáticos que podrían incorporarse en estufas, cocinas o automóviles, por ejemplo.

El descubrimiento del efecto de la magnetorresistencia gigante (GMR) abrió las puertas a un campo tecnológicamente virgen, la spintrónica, donde además de la carga eléctrica de los electrones se utiliza su spín. Le emergente nanotecnología fue un prerrequisito para el descubrimiento de la GMR. Ahora la spintrónica se está mostrando como un poderoso motor para el rápido desarrollo de la nanotecnología. Otro claro ejemplo de cómo la ciencia básica y la tecnología interaccionan reforzándose mutuamente.