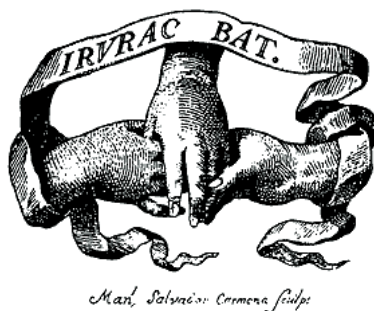


# EL MAGNETISMO EN LA VIDA COTIDIANA (A TRAVÉS DE LOS SIGLOS)

*Lección de ingreso como Amigo de Número en la*  
REAL SOCIEDAD BASCONGADA DE LOS AMIGOS DEL PAÍS  
Bilbao, 25 de Marzo de 2003



POR



**D. José Manuel Barandiarán García**



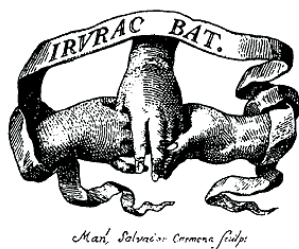
*Catedrático de Física Aplicada*  
en la Facultad de Ciencias de la  
Universidad del País Vasco  
Euskal Herriko Unibertsitatea



# EL MAGNETISMO EN LA VIDA COTIDIANA

## (A TRAVÉS DE LOS SIGLOS)

*Lección de ingreso como amigo de número en la  
REAL SOCIEDAD BASCONGADA DE LOS AMIGOS DEL PAÍS  
Bilbao, 25 de Marzo de 2003*



POR

**D. José Manuel Barandiarán García**

*Catedrático de Física Aplicada en la Facultad de Ciencias de la  
Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea*

### Índice

1. Introducción.....	1
2. Imanes en la antigüedad.....	2
2.1. Magnes o la atracción de la montaña.....	2
2.2. Los anillos de Samotracia: un experimento primitivo.....	3
2.3. ¿Milagros magnéticos?.....	3
3. La brújula: la atracción de lo desconocido.....	4
3.1. La brújula china.....	4
3.2. Petrus Peregrinus.....	4
3.3. William Gilbert y la ciencia moderna.....	5
4. Imanes, corrientes y la velocidad de la luz.....	5
4.1. Oersted y la unificación de las fuerzas.....	5
4.2. Faraday y la inducción.....	6
4.3. Maxwell y la propagación.....	7
4.4. La luz y el teléfono en casa: Edison, Tesla, Westinghouse, Bell... 8	
5. Magnetismo microscópico, la física cuántica, el secreto del imán desvelado.....	9
5.1. El electrón, un imán elemental.....	9
5.2. Superimanes y estrellas de imán.....	11
6. La revolución informática: imanes en la memoria.....	12
6.1. Norte y sur: ceros y unos.....	12
6.2. Discos y cintas para preservar la historia.....	13
7. Curando con imanes: de hechiceros a telépatas.....	14
7.1. Mesmer y el "magnetismo animal".....	14
7.2. Agua imanada, el reuma y otras curiosidades magnéticas.....	16
7.3. ¿Nos perturban los campos magnéticos?.....	16
7.4. Resonancia magnética: una visión interior.....	17
7.5. Magnetoencefalografía: la transmisión del pensamiento.....	18
8. Adminículos actuales y futuribles.....	19
8.1. Nos vigilan, nos transportan, nos ayudan: Imanes hasta en la cocina.....	19
8.2. ¿Un futuro más magnético?.....	20

Bizkaiko batzordeko Lehendakari jauna, jaun andreok, lagun guztiok, Arratzaldeon eta mila esker etortzea gatik.

Señor Presidente de la Comisión de Vizcaya, señoras y señores, amigos todos, buenas tardes y gracias por su asistencia.

### 1. INTRODUCCIÓN

**E**L MAGNETISMO ES ATRACTIVO Y DESCONOCIDO. La mayor parte de la gente no ha recibido ninguna formación sobre el tema, lo que les hace extremadamente crédulos a cualquier infundio que incluya campos, ondas o vibraciones magnéticas. Incluso entre las personas con formación científica y técnica los principios del magnetismo han sido rara vez incluidos en sus estudios y cuando lo han sido es de forma sucinta o incluso confusa. La culpa la tenemos en cierta medida los que nos dedicamos al tema, pues hemos oscurecido innecesariamente el tema usando varios nombres y unidades para las mismas magnitudes, lo que favorece el desconcierto. Sin embargo la



principal dificultad es que el tema es complejo y ha ocupado a las primeras espadas de la ciencia desde hace siglos sin agotar el misterio que siempre envuelve a los imanes. Paralelamente o incluso muchas veces por delante del conocimiento, se han desarrollado innumerables aplicaciones cuya influencia en la vida cotidiana es decisiva. La más conocida ha sido durante mucho tiempo la brújula, y desde luego toda la maquinaria eléctrica desarrollada a finales del siglo XIX, pero hoy en día el magnetismo nos acompaña insistente y discretamente desde el cierre de la puerta de nuestro frigorífico hasta el deporte, la medicina, el coche, las comunicaciones, etc., pasando, casi siempre, por la tarjeta de crédito, también magnética. Este impacto cotidiano es el objeto de la breve intervención que tengo el gusto de protagonizar hoy. Aunque la mayor parte de los avances y aplicaciones del magnetismo son recientes (y serán probablemente más las futuras!) la historia ayuda a ver la inevitabilidad del resultado final y la dificultad de conseguirlo. Por ello he incluido un esbozo histórico del desarrollo del magnetismo como preludeo a las realidades presentes y a las previsiones futuras.

Este trabajo ha sido un ejercicio de recopilación y de clasificación que me ha resultado entretenido y agradable. No pretendo, sin embargo, haber sido exhaustivo ni excesivamente riguroso. He recopilado lo que me parecía más interesante o divertido y muchas cosas se han quedado en el tintero. Ruego pues benevolencia a todos y pido disculpas a los que esperaban otra cosa.

Antes de seguir adelante quisiera agradecer muy especialmente a D. Adrián Celaya su invitación para incorporarme en su día, junto con un destacado grupo de científicos, a la Bascongada, pues ese es el origen de esta breve charla. También debo agradecer y mucho! a D. Pascual Román, presidente a la sazón, y a Xabier Orúe-Etxe-



Figura 1: Magnes contempla su cayado atraído por el imán

barría, que me animaron y auparon a incorporarme a la permanente de la Comisión de Bizkaia, a todos los compañeros de la misma y en especial a D. Emilio Mújica presidente actual de la comisión que me tomó la palabra en un viaje a Azcoitia y me ha obligado a mantenerla hasta llegar a este punto, ya sin retorno. Finalmente quisiera dedicar una línea a M<sup>a</sup> Angeles Larrea, quien ha tenido siempre y ya desde antes de incorporarme a la Bascongada, con ocasión del Proyecto Loyola, palabras de ánimo y de apoyo a todo, poco en verdad, lo que he podido aportar hasta el momento a nuestra Sociedad. Por otra parte el magnetismo me fue descubierto por D. Salvador Velayos en tiempos casi remotos y, animado por el profesor Hernando, se ha convertido en mi actividad principal, por lo que no tiene mucho mérito hablar de él. Debo con todo agradecer a mis compañeros tanto en la Universidad del País Vasco como en otras muchas Universidades y centros de investigación, tanto en España como fuera de ella, sus constantes aportaciones y correcciones, sin las que probablemente, este trabajo estaría lleno de errores.



## 2. IMANES EN LA ANTIGÜEDAD

### 2.1. Magnes o la atracción de la montaña

El magnetismo es un fenómeno conocido desde la más remota antigüedad. Tales de Mileto describe el fenómeno de la atracción magnética en el siglo VII antes de Cristo. Hay menciones chinas e hindúes anteriores y los imanes reciben nombres como chum-buk o piedra que besa, y otros que describen vivamente el efecto atractivo.

El nombre actual: Magnetismo, viene de magnes-magnetes que significa imán en latín y que, al igual que electricidad (electrón significa ámbar en griego), proviene a su vez del griego por referencia a Magnesia, zona de Asia central donde abunda la magnetita (óxido ferroso-férrico) que constituye el imán natural o piedra-imán. Así al menos lo relata Lucrecio en "de Rerum Natura". Plinio, sin embargo, toma de Nicandro, poeta griego del siglo II después de Cristo, otro origen para la palabra que provendría, según la leyenda, del pastor Magnes el cual, mientras cuidaba su rebaño en las faldas del monte Ida, vio cómo su cayado de hierro quedaba "pegado" a una roca que desde entonces recibió el nombre de piedra de Magnes o magnete. Nuestra palabra imán proviene del latín adamas-adamantem, que significa diamante pero también acero.

### 2.2. Los anillos de Samotracia: un experimento primitivo

En todo caso la atracción magnética entre el hierro y el imán natural es un fenómeno asombroso y excitante para la imaginación. La fuerza "a distancia" puede sentirse claramente en el cuerpo, a diferencia de las débiles y cambiantes fuerzas eléctricas que podían obtenerse frotando el ámbar, y da lugar a especulaciones y atribución de alma o virtudes divinas al imán. Este espíritu que

reside en la piedra, según Aristóteles, puede transmitirse al hierro o al acero por contacto o frotamiento y da origen en ellos a la misma propiedad atractiva que posee el imán original. Este es el fundamento de los famosos "anillos de Samotracia" en que varios anillos de hierro cuelgan unos de otros por causa de un imán que les infunde la "virtud" magnética. El "experimento" es probablemente uno de los primeros de que tenemos conocimiento. Hoy podemos reproducirlo fácilmente con unos clips metálicos y un pequeño imán... aunque ya no despierta tanta admiración en el público.

Algunas teorías científicas primitivas trataron de dar cuenta de los hechos de manera más "natural" y menos mágico. Así Lucrecio basa la acción del imán en la proyección de ciertas "semillas" o átomos como los descritos por Demócrito. La teoría atómica y el magnetismo vuelven a encontrarse varias veces a lo largo de la historia, como veremos.

### 2.3. ¿Milagros magnéticos?

Otra característica que acompaña casi sistemáticamente al magnetismo es su carácter mágico o místico, proveniente de lo inesperado de la fuerza. La virtud del imán se usó pronto como truco mágico-religioso. Así Benjamín Farrington en "Ciencia Griega" describe un abrazo nupcial entre una Venus de piedra imán y un Marte de hierro bruñido, tomado del poeta Claudiano: "Después de los preparativos rituales de rigor con música cánticos antorchas, etc. [...] Sin moverse del lugar, la diosa, con su poderoso encanto, atrae al dios en sus brazos."

Los "milagros magnéticos" han pervivido hasta la actualidad. La curación magnética practicada por Mesmer u otros efectos terapéuticos pretendidos o reales de este mismo tipo aparecen tam-



bién a menudo en el mundo contemporáneo. Comentaremos más adelante algunos casos. Su origen es, como hemos visto, remoto.

### 3. LA BRÚJULA: LA ATRACCIÓN DE LO DESCONOCIDO

#### 3.1. La brújula china

Aparte de la curiosidad de feria y del uso litúrgico, el imán (natural o inducido) reveló una utilidad práctica temprana: La brújula o compás fue probablemente descubierta por los chinos y traída a Europa posteriormente por los árabes. La primera mención europea de la brújula se encuentra en la "Biblia Gouyot" hacia 1100 DC. Allí se describe su utilización, haciendo flotar en agua una aguja imanada sobre paja o corcho. Los chinos también utilizaron brújulas flotantes (algunas en forma de pez) y una muy ingeniosa, cuyas reproducciones se pueden encontrar hoy en día en cualquier bazar como recuerdo para turistas, que consiste en una cuchara de magnetita en equilibrio sobre un plato de bronce y cuyo mango señala al Sur.



Figura 2: Brújula china primitiva en forma de cuchara

Un artificio consistente en un carrito con dos ruedas y una estatua con el brazo extendido, datado mil años antes de Cristo, también señalaba al

sur en todo momento y fue utilizado por un general chino para orientarse en la niebla durante una batalla (que al parecer ganó). El mecanismo del carrito, sin embargo, no es magnético sino puramente mecánico. Se basa en el diferencial, de amplio uso hoy en día en la transmisión de los automóviles.

#### 3.2. Petrus Peregrinus

La denominación de polos para designar los extremos del imán parece provenir de Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus) soldado e ingeniero que describe sus experimentos con un imán esférico en una carta escrita a su amigo Sygerus de Foucaucourt, durante el sitio de la ciudad de Lucena en el año 1269. En ella PP utiliza el método de trazar meridianos magnéticos de su imán esférico como las líneas a lo largo de las cuales se orienta una brújula o aguja de hierro. Los diversos meridianos magnéticos se cortan en dos puntos únicos... "como todos los círculos meridianos concurren en los dos polos opuestos del mundo. Has de saber [continúa PP] que uno es el Norte y otro es el Sur".

Otra característica de los polos del imán es que en dichos puntos la atracción por otros imanes o por agujas de hierro es máxima. Esto permite asignar "polos" a imanes de cualquier forma, y no solamente esféricos.

En esta época la brújula es ya un instrumento científico y técnico, pero está aún rodeado de superstición y misterio. Así se tiene por cierto que los ajos y cebollas pueden hacer perder la virtud del imán, lo que recuerda en cierto modo el efecto sobre los vampiros de estos vegetales de sabor y olor intenso. Por otra parte la explicación más extendida de la tendencia a orientarse de la brújula incluía la existencia de una gran montaña de magnetita en el polo geográfico (inaccesible por



el momento). Esta creencia se refleja, aún de manera muy tardía, en la Montaña Negra de la Narración de Arthur Gordom Pym (de Edgar Allan Poe) en el siglo XIX. Sin embargo la asimilación definitiva de la Tierra a un gran imán había aparecido muchos siglos antes (aunque muchos después de Petrus Peregrinus) y es obra de William Gilbert.

### 3.3. William Gilbert y la ciencia moderna

Este médico de la reina de Inglaterra y filósofo natural (o físico como se les llamaba entonces) publica en el año 1600 el primer tratado de magnetismo con el que nace, además la visión científica moderna, o simplemente científica, de la naturaleza. "DE MAGNETE, MAGNETISQUE CORPORIBUS ET DE MAGNO MAGNETE TELLURAE, *Physiologia nova, plurimis argumentis et experimentis demonstrata*", establece la necesidad de experimentación y de lógica en la deducción de las leyes que rigen los fenómenos físicos (especialmente

eléctricos y magnéticos), en contra de la aceptación de la opinión autorizada de antiguos sabios, o no tan sabios, de las creencias populares y de la superstición, sin comprobación alguna. La aparición de "De Magnete" es anterior con mucho a los escritos de Galileo y se puede considerar como el primer tratado científico, aunque no presenta realmente resultados cuantitativos aún, lo que vuelve a poner de relieve el papel del magnetismo en el desarrollo científico en general.

El ejemplo, sin embargo, no tiene continuadores inmediatos. Incluso 10 años después del libro de Gilbert las ideas generales sobre el magnetismo seguían haciendo referencia a "la virtud celeste" como explicación de la atracción. Así el ingeniero e inventor navarro Jerónimo de Ayanz escribe en un informe sobre una brújula, que pretendidamente no mostraba declinación magnética y con la que un tal Fonseca pretendía ganar un premio de 6000 ducados, lo siguiente: [yo también sé]... *cómo poner trescientas y sesenta agujas que cada una mire a su grado, pero no por eso son fixas, ni es posible que lo sean, ...pues si la piedra imán que es el agente principal que recibe del cielo tanta virtud... está sujeto a nordestear, ¿Cómo puede dejar de estarlo la aguja que es el recipiente?*

Hay que esperar de nuevo mucho tiempo hasta que se establecen las primeras medidas cuantitativas, como las de Coulomb y Cavendish que llevan a establecer la ley del cuadrado de la distancia para las fuerzas eléctrica, magnética y gravitatoria, bien avanzado el siglo XVIII.

## 4. ÍMANES, CORRIENTES Y LA VELOCIDAD DE LA LUZ

### 4.1. Oersted y la unificación de las fuerzas

Aunque la primera aparición de teorías y medidas cuantitativas sobre fenómenos magnéticos es

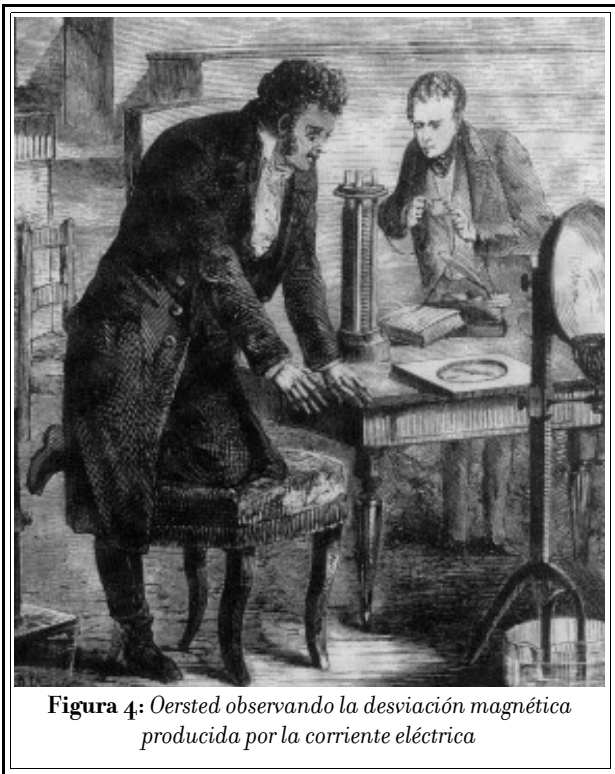


Figura 3: William Gilbert, un pionero del magnetismo científico



contemporánea a la de las correspondientes a fenómenos eléctricos, la electricidad avanzó más deprisa y se convirtió en una ciencia extremadamente fecunda, especialmente en cuanto a la diversificación de instrumentos y aplicaciones: máquinas electrostáticas, condensadores, baterías, circuitos, etc.. Mientras tanto la ciencia de los imanes quedaba a la zaga, con pocas novedades sobre las descritas en “De Magnete”.

En 1820 un joven profesor danés descubría, sin embargo, una relación entre la corriente eléctrica, que ya se conocía con cierto detalle, y la fuerza magnética. El “conflicto de electricidad”, como lo llamó Hans Christian Oersted rodeaba la corriente eléctrica y desviaba la aguja magnética.



**Figura 4:** Oersted observando la desviación magnética producida por la corriente eléctrica

Solamente unas semanas más tarde de comunicarse el descubrimiento de Oersted, André Marie d’Ampère realiza una serie de experimentos geniales con bobinas recorridas por corrientes eléctricas y determina una expresión cuantitativa para la fuerza entre corrientes, es decir entre cargas eléctricas en movimiento. Había nacido la

primera gran unificación de las fuerzas o interacciones: Electricidad y Magnetismo son dos aspectos de la misma fuerza que se manifiesta entre cargas eléctricas, en reposo o en movimiento.

Esta verdad oculta durante siglos se desarrolló en pocos años dando origen a la teoría electromagnética que, por una parte proporcionó de inmediato la revolución electrotécnica sin la que hoy no sabríamos vivir, y por otro dio lugar a un modelo de campos de fuerzas que ha sido pionero y referente a la hora de estudiar las mucho más sutiles y complejas fuerzas intranucleares descubiertas bien entrado el siglo XX. Pero vayamos por partes. El mismo Ampère, inspirado por la similitud entre las fuerzas magnéticas entre corrientes que estudiaba, y las ya conocidas entre imanes, sugirió, acertadamente, que estas últimas se debían a corrientes atómicas en el interior de los imanes, las llamadas corrientes amperianas. Con todo es Michel Faraday quien con más razón se puede considerar padre del electromagnetismo moderno.

#### 4.2. Faraday y la inducción

Los trabajos de Faraday en el campo del magnetismo son numerosos y definitivos en muchos casos. El primer descubrimiento que quiero mencionar es el del motor eléctrico, aunque mejor deberíamos decir magnético, pues se trata de un hilo que transporta corriente que gira alrededor de un imán, mientras el contacto eléctrico que asegura el paso de la corriente se establece mediante una copa de mercurio en la que se mueve el hilo. Este motor no es excesivamente eficaz y no tuvo aplicaciones prácticas, pero muestra ya las posibilidades del magnetismo en su aplicación a la industria y al desarrollo de todo tipo de dispositivos cotidianos.



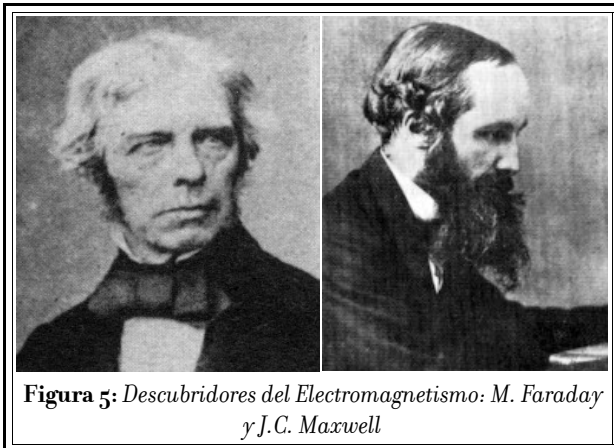


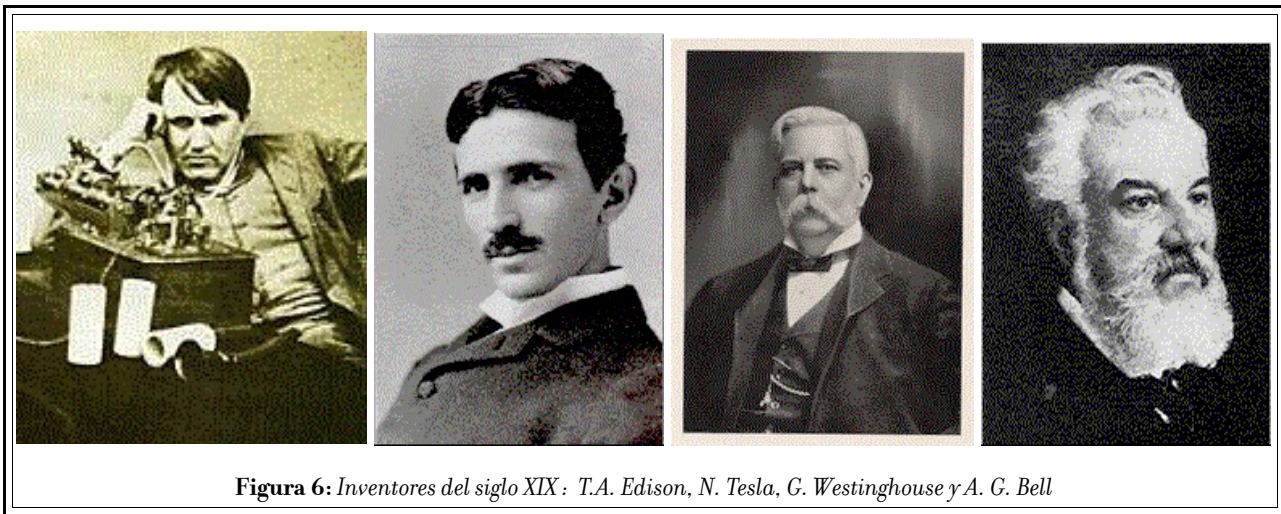
Figura 5: Descubridores del Electromagnetismo: M. Faraday y J.C. Maxwell

Faraday también estudió la respuesta de diversos materiales al campo magnético y descubrió que, aparte del hierro y otros materiales similares que sufren intensamente las fuerzas de los imanes (los llamados materiales ferromagnéticos), toda la materia es sensible al mismo aunque de manera mucho más débil y con distinta tendencia. En algunos casos el material es atraído por los campos magnéticos intensos (paramagnéticos), mientras en otros es repelido por los mismos y tiende a alejarse de ellos (diamagnéticos). Esta clasificación de los materiales ha pervivido hasta hoy en día y está en la raíz de estudios posteriores que dilucidaron la estructura interna de los átomos en el primer tercio del siglo XX. Sin embargo el concepto más fructífero de sus investigaciones es el de Campo que introdujo como alternativa a la "acción a distancia" entre cargas o imanes y que repugnaba a su idea de la naturaleza. El campo es una perturbación (eléctrica, magnética o incluso gravitatoria) del espacio producida por la acción de cargas, imanes o masas, de forma que un cuerpo cargado, imanado o simplemente poseedor de una masa, sufría las consecuencias del campo en el punto en que se encontraba, sin necesitar para describir esta influencia una referencia directa a la causa que había producido el campo en cuestión. El concepto de campo le permite enunciar su ley de la inducción o simplemente ley de Faraday, según la cual la varia-

ción del campo magnético que atraviesa un circuito induce en éste una corriente eléctrica proporcional a la rapidez con que varíe el campo. No importa que el origen de la variación del campo, sea el movimiento de imanes o del propio circuito, o el cambio en las corrientes que circulan por otros circuitos. Esta ley es la base de toda la Electrotecnia: la inmensa mayoría de los generadores eléctricos, los transformadores, diversos tipos de motores y otros dispositivos de uso cotidiano descansan en la inducción electromagnética.

#### 4.3. Maxwell y la propagación

La teoría eléctrica y magnética se establece definitivamente en el famoso "Tratado sobre la electricidad y el magnetismo" de James Clerk Maxwell. En él las ideas de Faraday se ponen en forma matemática y se unifican las leyes parciales conocidas hasta el momento condensándose en las famosas "Ecuaciones de Maxwell" que han llegado sin un solo retoque hasta nuestros días y seguramente vivirán aún muchos años, pues son refrendadas cotidianamente. El papel de Maxwell en el electromagnetismo no se limita a escribir las ecuaciones de su nombre. Analizando las implicaciones de las teorías anteriores descubre que el campo magnético no proviene solamente de las corrientes, sean éstas atómicas o claramente macroscópicas, sino que pueden provenir de las variaciones de campos eléctricos en el tiempo, lo que les permite encadenarse y propagarse en el espacio sin necesidad de cargas y corrientes cercanas. Más aún, al calcular la velocidad de propagación de los campos electromagnéticos encadenados encontró que ésta era exactamente igual a la velocidad de la luz, lo que le lleva a la segunda gran unificación de la Física: la óptica no es sino una parte del electromagnetismo, aquella que se refiere a las ondas electromagnéticas para las que nuestros ojos son sensibles. Estas ondas son so-



**Figura 6:** Inventores del siglo XIX: T.A. Edison, N. Tesla, G. Westinghouse y A. G. Bell

lamente una pequeñísima parte de las posibles radiaciones electromagnéticas y hoy en día, después de que Hertz descubriera cómo producir otras ondas de manera artificial, estamos completamente rodeados de aplicaciones Hertzianas, desde la telefonía móvil y los hornos de microondas hasta la televisión y su mando a distancia o el de la apertura del coche o del garaje. No es este sin embargo lugar para extenderse en aspectos relacionados con las ondas y telecomunicaciones. Volvamos al magnetismo. En este campo, como en todos, las aplicaciones cotidianas no se desprenden sin esfuerzo de las ecuaciones básicas sino que necesitan otros hombres que las desarrollen, y los pioneros de estas aplicaciones son los grandes inventores americanos de finales del siglo XIX.

#### 4.4. La luz y el teléfono en casa: Edison, Tesla, Westinghouse, Bell...

La potencialidad de los descubrimientos daneses, franceses y británicos en cuanto a su aplicación industrial fue rápidamente apreciada por los emprendedores norteamericanos, y a finales del siglo XIX se desarrolla rápidamente la ingeniería eléctrica gracias a una serie de inventores y hombres de empresa que merece la pena repasar. El primer nombre que nos viene a la mente es el de

Thomas Alva Edison, que, además de otros muchos artilugios, tiene en su haber el invento de la lámpara eléctrica de filamento, con la que consiguió desterrar las farolas de gas y alumbrar Nueva York, dando origen a la famosa compañía General Electric. El sistema de suministro eléctrico de Edison estaba basado en la corriente continua (CC), producida por dinamos o magnetos, lo que lleva aparejado una serie de inconvenientes graves. Sin entrar en detalles sobre la rivalidad entre CC y la alterna (CA), sí que hay que destacar el papel del ingeniero serbio-americano Nikola Tesla y del inventor y empresario George Westinghouse hombres que, junto a otros muchos que contribuyeron al desarrollo de la Ingeniería Eléctrica en aquellos tiempos, lograron imponer la corriente alterna como modo de suministro universal de energía. Entre los instrumentos, hoy cotidianos, que tuvieron que desarrollar para ello hay que mencionar el alternador y el transformador. En toda la maquinaria eléctrica el hierro era parte fundamental para conseguir grandes campos magnéticos a partir de la corriente eléctrica.

El esfuerzo de estos dos hombres queda reflejado por un lado en la pervivencia de la conocida empresa del segundo y reconocimiento del apellido del primero como la unidad (Tesla) de campo magnético del Sistema Internacional (SI). Esta

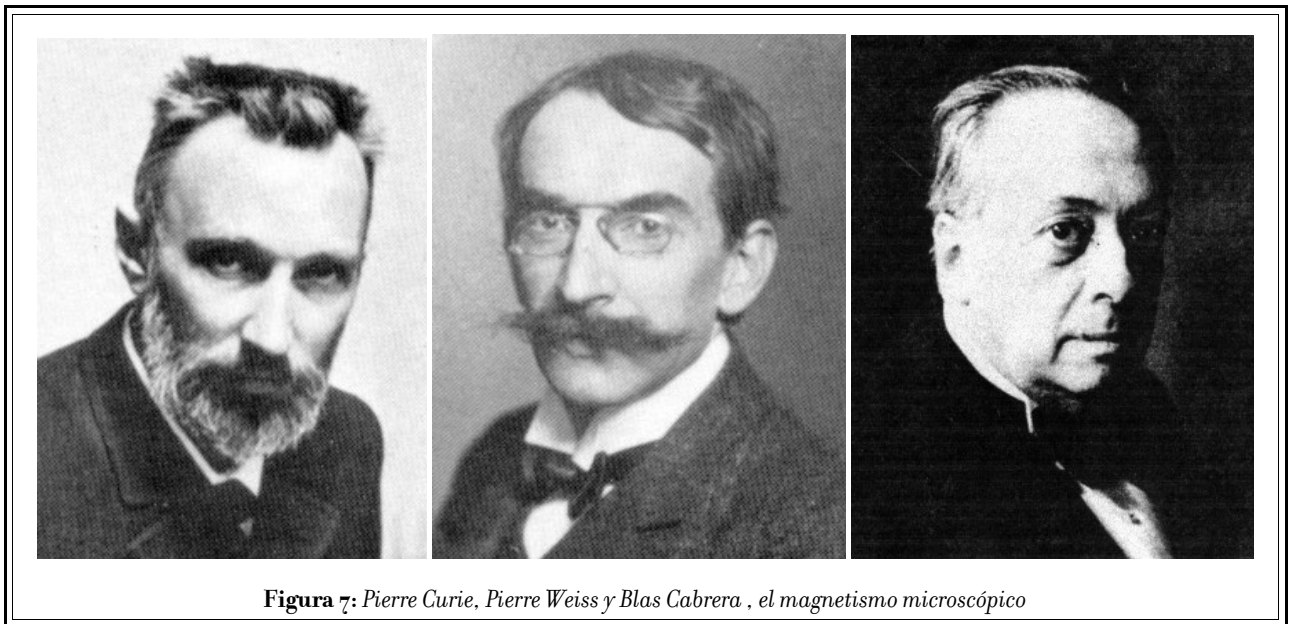


Figura 7: Pierre Curie, Pierre Weiss y Blas Cabrera , el magnetismo microscópico

unidad y el sistema (SI) basado en el kilogramo el metro y el Ampère para la corriente eléctrica, ha resultado vencedor y ha desbancado hoy en todos los campos, tanto científicos como técnicos, al sistema anterior basado en el centímetro y el gramo, en que el gran físico y matemático Carl Gauss daba nombre a la unidad de campo magnético. Quizá por la magnitud histórica de la figura de Gauss muchos magnéticos prefieren, aún hoy, seguir usando esta antigua unidad para el campo magnético, lo que ha retrasado de manera anormal la introducción del SI en este campo de la ciencia.

Otro invento muy "magnético" y no solo por lo atractivo que resulta, especialmente a los adolescentes, es el del teléfono. Aún cuando la invención del teléfono ha sido reconocida finalmente al italo-americano Antonio Meucci, no cabe duda de que Alexander Graham Bell, que se atribuyó el invento durante mucho tiempo, fue un pionero en las aplicaciones del magnetismo y el fundador de la Bell Telegraph and Telephone, luego ATT, y de los Laboratorios Bell, donde sus sucesores han cosechado más premios Nobel que en ninguna otra institución del mundo.

Al respecto del teléfono es instructivo ver cómo los largos auriculares de los primeros modelos delatan lo primitivo de la técnica magnética de la época. En aquellos días los imanes permanentes estaban hechos simplemente de acero trabajado en frío y eran de escasa calidad, por lo que debían de ser largos y finos, a fin de poder soportar el campo desimanador de sus propios polos!. El avance en materiales para imanes permite hoy imantar discos planos y el tamaño de los imanes que pueden realizar la misma función que los primeros aceros ha disminuído de tal forma que todo el conjunto de micrófono, amplificador, auricular y batería que lo alimenta caben en el interior del oído externo, haciendo real el sueño de Bell de eliminar (o paliar al menos!) la sordera.

## 5. MAGNETISMO MICROSCÓPICO, LA FÍSICA CUÁNTICA, EL SECRETO DEL IMÁN DESVELADO

### 5.1. El electrón, un imán elemental

La ciencia no contó con instrumentos teóricos y experimentales para comprender la naturaleza de



Objeto	Campo magnético
Campo Galáctico	0.00001 Gauss*
Nube Molecular Interstelar	0.001 Gauss
Campo Magnético Terrestre	0.5 Gauss
Superficie Solar	5 Gauss
Imán de la nevera	100 Gauss
Mancha solar / Júpiter	1000 Gauss
Electroimán	20,000 Gauss
Bobina superconductor	120,000 Gauss
Enana Blanca/ <b>Máximo campo artificial*</b>	1,000,000 Gauss
Estrella de Neutrones	1,000,000,000,000 Gauss
Magnetar	1,000,000,000,000,000 Gauss

\* Creado mediante explosivos y por tanto de muy corta duración. El máximo campo artificial estable alcanzado es de unos 400.000 Gauss = 40 Tesla

\* 1 Gauss = 0.0001 Tesla

**Tabla 1:** Campos magnéticos naturales y artificiales

los fenómenos microscópicos hasta comienzos del siglo XX. Por ello el poder de la piedra seguía siendo misterioso, no solo para el ciudadano de a pie, sino también para los más preclaros investigadores entre los que cabe citar a Pierre Curie, cuya tesis doctoral versó precisamente sobre las propiedades magnéticas de la materia, y que descubrió que el magnetismo del imán desaparece cuando es calentado por encima de una determinada temperatura, llamada en su honor temperatura de Curie. La temperatura de Curie del hierro es alta, de unos 750 grados centígrados, pero otros elementos también magnéticos son más sensibles al calor. Así el Níquel, que entra en la composición de nuestras nuevas monedas, los euros, es también portador de virtudes similares al hierro, pero pierde su fuerza a unos 350 grados centígrados solamente. Otro elemento ferromagnético es el Gadolinio de sonoro nombre, como muchas de las tierras raras a cuyo grupo pertenece. El Gadolinio es aun más débil magnéticamente pues su temperatura de Curie es de solamente

18 grados centígrados. Podríamos calificar al Gadolinio de imán de invierno, ya que los calores del estío impiden su actividad y parece que se toma unas vacaciones magnéticas en cuanto aparecen.

La explicación del Ferromagnetismo aparece en 1913 y se debe a Pierre Weiss quien postula que el intenso efecto magnético del hierro y de más materiales ferromagnéticos se debe a un fortísimo campo "molecular" creado por los mismos átomos de hierro que lo sufren y alinean así sus momentos magnéticos. La idea, que funciona bastante bien, tenía una pega. Nadie podía explicar el origen de tal campo pues su intensidad debía de ser miles de veces la esperada por los conocimientos de la época.

Por la misma época en que Curie estudiaba el ferromagnetismo, JJ Thompson descubría el electrón, dando así una base a las especulaciones de Ampère sobre las corrientes atómicas que producían el magnetismo. La física atómica nace así al demostrar que el átomo, lejos de ser indivi-

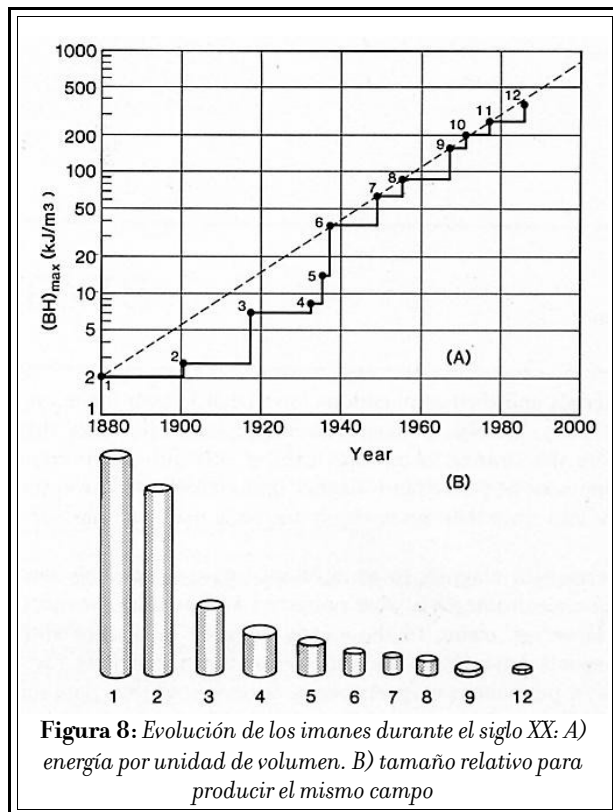


Figura 8: Evolución de los imanes durante el siglo XX: A) energía por unidad de volumen. B) tamaño relativo para producir el mismo campo

sible como proclama su nombre, contiene en su interior partículas más pequeñas. Sin embargo las herramientas con que contaban los científicos se mostraron incapaces de penetrar en los secretos del átomo y fue necesaria una revolución para atacar este nuevo mundo microscópico: La mecánica cuántica. El mismo año que Weiss postulaba el campo molecular, Niels Bohr postulaba también la cuantificación del átomo y explicaba a la perfección los espectros luminosos emitidos por el átomo de Hidrógeno. El más simple de todos.

Pronto se descubrió que el electrón, aparte de la carga eléctrica que le caracteriza, tiene un momento magnético intrínseco asociado a su espín, o movimiento de giro sobre sí mismo como si fuera una peonza, lo que le convierte en el imán natural por excelencia y proporciona una unidad para medir todos los imanes, el Magnetón de Bohr o "Cuanto" de imán. Es también la mecánica cuántica la que consigue explicar el intenso campo molecular postulado por Weiss, gracias a

las ideas de Heisenberg. El magnetismo también devuelve el favor a la cuántica y a la física atómica pues permite contrastar los complejos cálculos de la estructura atómica con las medidas de sus propiedades magnéticas, asegurando así la corrección de los primeros.

En esta tarea de comprobación experimental de las predicciones de la mecánica cuántica mediante el magnetismo destaca D. Blas Cabrera, eminente científico español cuya carrera quedó truncada prematuramente por la guerra civil y el exilio, pero que fundó de hecho el instituto Rockefeller (por su patrocinador), luego transformado en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y dio origen a la escuela española de magnetismo, a través de su discípulo y colaborador, D. Salvador Velayos, de la que me considero un humilde seguidor. Las medidas de Cabrera son citadas exhaustivamente por J.H. Van Vleck (Premio Nobel en 1974), quién ya en los años 30 cierra el diaamagnetismo y paramagnetismo microscópicos con su famoso libro "Theory of the Electric and magnetic susceptibilities" en que aplica la recién desarrollada mecánica cuántica.

## 5.2. Superimanes y estrellas de imán

La parte más espectacular de la revolución en el magnetismo, a través de la Física del Sólido y de la Ciencia de Materiales a lo largo de todo el siglo XX, se puede adjudicar al avance en la potencia de los imanes. Los Alnicos en los años 50, las Ferritas de los 70 y los imanes de Tierras Raras en los 80 y 90 han cambiado radicalmente nuestra percepción del magnetismo. Especialmente los imanes de Neodimio y Hierro, últimos de la saga, suponen una mejora del orden de mil veces respecto a los imanes de acero de principios de siglo, pudiendo "levantar" mil veces su propio peso. Son auténticos superimanes. Avances similares pero que llegan menos al gran público se han lle-



vado a cabo en los materiales para generadores y transformadores (es decir para electroimanes): La chapa de acero al Silicio, descubierta en los años 30, supuso un avance importante, que se ha desarrollado luego a través de nuevos materiales como los amorfos, de los años 70, y los nanocristalinos, muy recientes.

Otra parte espectacular de los avances de este siglo, relacionados con el magnetismo, es el de los superconductores, materiales que unen a su conductividad eléctrica infinita, la propiedad de expulsar de su interior toda traza de campo magnético, lo que les permite "levitar" con facilidad en dichos campos. La capacidad de mantener corrientes eléctricas sin pérdida ninguna durante años, permite también crear imanes superconductores de potencia muy superior a los imanes permanentes y a los electroimanes con núcleo de hierro.

Aunque sin la Física Cuántica no podríamos haber comprendido los mecanismos del Ferromagnetismo ni de la superconductividad, es poco reconfortante constatar que los avances en aplicaciones surgen muchas veces por casualidad o por efecto de búsquedas sistemáticas de combinaciones de elementos en la tabla periódica, llevada a cabo por grandes compañías con evidente afán de lucro. Así la "zoología" magnética ha resultado más productiva que la búsqueda dirigida por la teoría, que se ha limitado, las más de las veces, a tratar de explicar tardíamente lo que no pudo predecir cuando se le interrogaba.

A fin de tener una idea de la magnitud de los campos magnéticos naturales y artificiales de los que hemos venido hablando hasta ahora sin ninguna cifra, me voy a permitir concentrar en una tabla algunos de los campos más representativos. Estos se extienden en un amplio margen de valores, desde los inapreciables campos de la inmensidad intergaláctica hasta los monstruosamente

densas estrellas magnéticas o MAGNETAR's provenientes del colapso de las supernovas, pasando por el campo terrestre y los más intensos producidos por el hombre incluso con técnicas de implosión, que concentran el campo ya intenso de un carrito mediante explosivos, por lo que su duración es efímera y la destrucción del equipo utilizado total.

Los descubrimientos relacionados con el magnetismo terrestre, solar, estelar... merecerían un capítulo aparte: las corrientes del núcleo de los astros que lo producen, la deriva e inversión de los polos terrestres, la datación de las rocas por su imanación, las auroras boreales, los cinturones de Van Allen y las protuberancias y el "viento" solar, los púlsares y estrellas de neutrones, las magnetar's o estrellas que emiten chorros de rayos gamma, etc.. Pero no es este el momento de comenzar otra digresión sino de atenernos al guión original y volver a la vida cotidiana. Baste decir que es la Física moderna la que ha permitido también entender en fechas muy recientes parte de estos fenómenos. Otros quedan aún abiertos a la discusión.

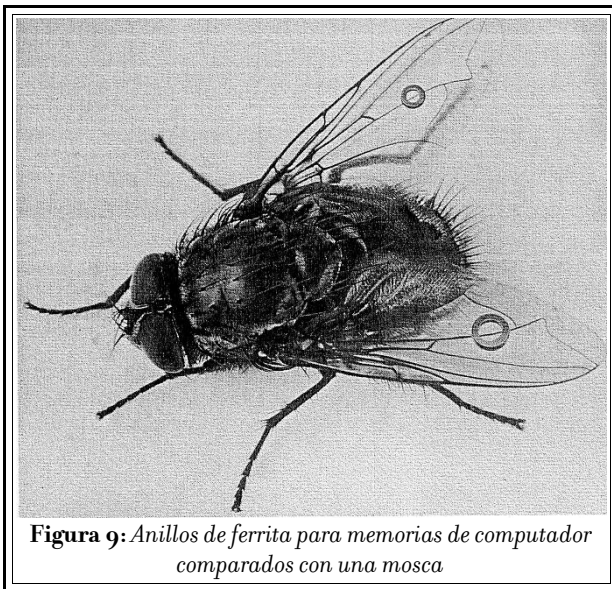
## 6. LA REVOLUCIÓN INFORMÁTICA: IMANES EN LA MEMORIA

### 6.1. Norte y sur: ceros y unos

Si la revolución eléctrica de finales del siglo XIX y principios del XX transformó la sociedad industrial, y permitió un avance inimaginable de la producción a escala mundial, la revolución electrónica, y más concretamente la informática, está aún revolucionando el mundo de finales del siglo XX y comienzos del XXI. Esta revolución se basa también en gran medida en las propiedades del imán. Ya desde el comienzo de los ordenadores electrónicos la necesidad de guardar datos inter-



medios llevó a la construcción de “memorias magnéticas” para sustituir las gigantescas válvulas electrónicas de vacío. Acompañando a los transistores permitieron la creación, en los años 60, de la segunda generación de ordenadores que se introducen de manera generalizada en el cálculo (universidades, ejército, ingenierías,...) y la gestión (bancos, compañías de seguros, administración pública,...). En las memorias magnéticas cada dato simple o bit, es decir un cero o un uno en la notación binaria, quedaba almacenado en la dirección de un pequeño imán. Esto era válido tanto para las memorias de acceso aleatorio (RAM) formadas por anillos de ferrita de tamaño diminuto para nuestra escala, aunque tremendos para la escala atómica, como para los sistemas de almacenamiento masivo en grandes discos o cilindros magnéticos que giraban rápidamente o en las más lentas cintas magnéticas que sin embargo tenían una capacidad de almacenamiento gigantesca, ¡para la época!.



**Figura 9:** Anillos de ferrita para memorias de computador comparados con una mosca

Los anillos de ferrita desaparecieron rápidamente en aras de la creciente miniaturización y fueron sustituidos por pequeños condensadores cargados o descargados que tenían la misma función que los anillos imanados o desimanados.

Estos, sin embargo tienen tendencia descargarse en poquísimos tiempo y necesitan “refrescarse” continuamente. La pérdida de datos en la memoria de un ordenador cuando se desconecta es una consecuencia del almacenamiento “eléctrico” en lugar de magnético. Toda la información que deba quedar guardada en permanencia está codificada magnéticamente en discos (duros o flexibles) o cintas. Estos sistemas de almacenamiento masivo y no volátiles, son sin embargo más lentos que los RAM (memorias de acceso aleatorio) pues deben ser “leídos” secuencialmente. Solo recientemente, con el advenimiento de los CD’s y DVD’s regrabables empieza a peligrar la hegemonía magnética para el almacenamiento de información.

Por otra parte las modernas tecnologías de películas delgadas multicomponentes se están desarrollando nuevos dispositivos magnéticos de almacenamiento en pequeñísimas unidades de acceso muy rápido (2nanosegundos) y permanentes. Estos dispositivos son la “válvulas de espín” que han dado lugar, junto a otros dispositivos electrónicos como el transistor de espín, “todo metal” a la “espintrónica” o electrónica de espín o basada en los cambios de dirección del momento magnético del electrón más que en el transporte efectivo de cargas en los circuitos. Su futuro está aún por ver, pero presenta indudables ventajas frente a la tecnología tradicional de semiconductor por su rapidez, bajos valores de resistividad y carácter permanente del almacenamiento de información. Además, al no necesitar “refresco”, las dimensiones de un “bit” magnético en las válvulas de espín es mucho menor que en la tecnología de semiconductor.

## 6.2. Discos y cintas para preservar la historia.

La cantidad de información almacenable en un soporte (magnético o no) aumenta rápidamente al disminuir el tamaño de cada elemento de me-



moria. Así la carrera de la grabación magnética se establece en términos de tamaño del bit y éste se refiere en última instancia al número de partículas magnéticas que incluye. En el afán de disminuir el tamaño del pequeño imán cuyos polos norte o sur representan los bits de información se está llegando al límite de un número de átomos suficiente para asegurar el carácter de imán permanente del "bit" de memoria. Siendo el ferromagnetismo un fenómeno cooperativo se necesitan bastantes átomos para conseguir el orden de los momentos magnéticos individuales y formar un imán. El efecto de la temperatura es muy importante pues la agitación térmica tiende a desordenar el estado magnético y puede "borrar" los datos con mayor facilidad cuanto menor sea el material dedicado a cada bit. El estudio de los sistemas magnéticos "nanométricos" es una parte importante de la nanotecnología, tan en boga actualmente, y proporciona un campo donde se esperan grandes avances aunque de gran dificultad de ataque pues está a caballo entre la física de los átomos o moléculas aislados y la de los cuerpos sólidos con millones de átomos ordenados en el espacio y a los que es posible aplicar métodos de estudio que simplifican en gran manera el tratamiento individual, por otra parte imposible, de todos los átomos.

Otro importante detalle es el de la cabeza lectora y grabadora. Un tamaño de bit muy pequeño exige una cabeza mínima pues si no estaríamos mezclando bits adyacentes y nuestra miniaturización conllevaría una "borrosidad" creciente de la información almacenada. La otra variable que interesa sobremanera es la velocidad de lectura/escritura y ésta está relacionada con la velocidad de respuesta de la cabeza lectora. Nuevos dispositivos y principios se usan para aumentar la veloci-

dad y disminuir el tamaño de las cabezas. Una de las soluciones en uso es la de cabezas magneto-resistivas, basadas también en las válvulas de espín como las comentadas previamente. El resultado de la conjunción de todos estos adelantos es el aumento exponencial de la capacidad de los discos duros de los ordenadores en los últimos años. Si hace 10 años la capacidad de un ordenador se medía en Megabytes (millones) ahora estamos llegando a los cientos de Gigabytes (miles de millones) para los ordenadores domésticos y pronto aparecerán capacidades del orden del Terabyte (billón). La correspondiente mejora de prestaciones ha permitido la incorporación de la fotografía y del vídeo digital incluso a los equipos domésticos, que alcanzan ya la calidad de los sistemas profesionales. La amenaza de desterrar la película tradicional se cierne sobre todas las facetas de la producción artística. Ya hay directores que ruedan superproducciones en vídeo digital, teniendo las escenas disponibles al instante para tratar de repetir si no es de su agrado, con la posibilidad de ahorrar tiempo y dinero e incluso de retocar o trucar directamente el original o incorporar imágenes generadas por ordenador, como es corriente en las modernas películas de fantasía.

Para terminar este repaso informático tendré que mencionar la posibilidad, ampliamente discutida en la actualidad, de utilizar efectos cuánticos, relacionados con el espín o momento magnético, para realizar Computadores Cuánticos que dejarían en pañales a todas las extrapolaciones de los actuales sistemas informáticos, por su capacidad de resolver varios problemas al mismo tiempo y a nivel molecular!. El asunto, sin embargo, es pura especulación por el momento.





## 7. CURANDO CON IMANES: DE HECHICEROS A TELÉPATAS.

### 7.1. Mesmer y el "magnetismo animal"

La idea de que los seres humanos y otros animales producen campos magnéticos que influyen en sus semejantes ha estado presente en nuestra crédula sociedad desde hace mucho. Uno de los primeros en utilizar la influencia magnética para la curación de enfermedades fue Paracelso, médico y alquimista del siglo XVIII que sugería que la fuerza del imán podría atraer las enfermedades sacándolas del cuerpo del paciente para curarle. El mismo Paracelso era consciente con todo, del poder de sugestión como elemento curativo y probablemente fiaba más de él que de la auténtica virtud del imán. La idea del "magnetismo animal" fue desarrollada primero en Austria y luego en Francia por Anton Mesmer que lo asimilaba al poder hipnótico que él mismo poseía y ejercía especialmente entre las damas. Aunque empezó usando imanes reales, pronto prescindió de ellos y utilizaba cualquier material para sus "pases" terapéuticos hasta desembocar en la acción a distancia (figura). Una comisión formada entre otros por Lavoisier y Benjamín Franklin a instancias del rey Luis XIV falló en contra de todo poder real del tratamiento, lo que se supone que terminó con el magnetismo terapéutico, pero no fue así, sino que siguió practicándose, derivando rápidamente hacia la hipnosis. Está tan extendida la idea del magnetismo animal y su origen que son sinónimos el mesmerismo y la hipnosis y el magnetizador o hipnotizador. Incluso he leído recientemente en "Harry Potter y el cáliz de fuego" cómo un amigo de Harry bajaba las escaleras "en estado mesmérico", es decir hipnotizado.

A este respecto me viene a la memoria una anécdota que contaba el Profesor D. Salvador Velayos, discípulo de Cabrera y catedrático de Física en la Universidad Complutense de Madrid. Al parecer coincidió en un viaje en autobús con un personaje extrovertido y hablador que le preguntó casi de sopetón que a qué se dedicaba. Don Salvador le contestó que se dedicaba al magnetismo, a lo que nuestro amigo respondió:

- Hombre, me alegro de viajar con un colega. ¡Yo también soy feriante!.



Figura 10: Anton Mesmer realizando una "cura magnética" en Viena

La influencia a distancia del imán sobre la brújula u otros imanes siempre ha despertado curiosidad y asombro y es lógica la comparación con la influencia psicológica y especialmente con la sugestión y la hipnosis, así como con pretendidas telepatías o adivinaciones a las que se trata de revestir de seriedad científica por referencia a un fenómeno estudiado y catalogado entre los au-



ténticos. Aún hoy esta idea se abre paso entre las personas menos instruidas o más necesitadas de empatía y apoyo emocional. Recientemente he oído por la radio o la televisión anunciar un libro titulado: "Descubre tu magnetismo" incluido en la colección: "Energías que curan y adivinaciones".

### 7.2. Agua imanada, el reuma y otras curiosidades magnéticas.

No hace mucho hemos asistido a la promoción de un nuevo remedio universal: el agua imanada, que como decía el profesor Hernando, experto en radiaciones no ionizantes de la Unión Europea, es el sustituto laico del agua de Lourdes y su efecto, imposible de comprobar médicamente, es sin embargo terriblemente beneficioso para el bolsillo de los promotores del asunto. Sin embargo la magnetoterapia sigue practicándose y proliferan las plantillas magnéticas para los pies, colchones con imanes, pulseras, etc. La literatura que acompaña estos adminículos es totalmente fantástica y acientífica, lo que contribuye al desconcierto general en el que se incluyen algunos profesionales de la medicina, el derecho, etc...

Sin embargo no todo parece filfa o misterio en la aplicación del magnetismo a la medicina y algunos estudio parecen señalar cierto alivio de dolores de tipo reumático o una aceleración de la soldadura de fracturas al someter las zonas afectadas a campos magnéticos. Recientemente se ha realizado un estudio en que se establecía la virtud de los imanes en pacientes aquejados de poliomielitis. Este estudio, dirigido por el prestigioso investigador de origen español Dr Carles Vallbona de la Escuela Baylor, en Huston, USA fue publicado en la revista "Archives of Physical Medicine and Rehabilitation", y está realizado con todas las garantías de imparcialidad (método doble ciego). En él un grupo de pacientes fue tratado con ver-

daderos imanes y otro con discos similares pero que no producían ningún campo magnético. Los pacientes eran interrogados sobre el nivel de dolor puntuando de 1 a 10 y declararon una mejora clara, pasando de 9,6 a 4,4 cuando eran tratados con imanes auténticos, mientras que la mejoría fue solamente de 9,5 a 8,4 en los que llevaban imanes falsos. Entre los posibles mecanismos analgésicos de los imanes se barajan los siguientes: dilatación de los vasos sanguíneos (efecto parecido al calor muy usado como analgésico), la actuación a nivel bioquímico en las membranas, alterando los receptores del dolor e incluso la inducción de corrientes en el sistema nervioso que reduzcan la percepción del dolor en el cerebro. Con todo no hay evidencia de que ninguno de estos mecanismos sea el correcto y las ideas anteriores son meramente especulativas.

### 7.3. ¿Nos perturban los campos magnéticos?

No todos parecen convencidos de las ventajas curativas de los campos magnéticos. Desde que en 1979 se relacionó por primera vez el campo magnético producido por las líneas de conducción eléctrica y por aparatos domésticos con el cáncer, la prensa ha contribuido a crear un cierto clima de "electrofobia". En USA, y también en otros muchos países, incluida España, las compañías eléctricas se han visto inmersas en un mar de litigios y demandas. El coste de tales litigios y de las medidas de precaución, injustificadas, ha alcanzado valores astronómicos. Algunos ejemplos recientes incluyen una ciudad que desvió varias líneas de distribución eléctrica subterráneas con un coste de 20.000 \$ por cada persona potencialmente expuesta a sus campos, o la desviación de una línea eléctrica de las cercanías de una escuela que costó 9 millones de dólares.

La evidencia epidemiológica sobre estos efectos se ha hecho cada vez más débil y los mecanis-



mos propuestos para tales efectos son cada vez más especulativos. Los comités científicos que han revisado la epidemiología de los campos EM han encontrado los datos inconsistentes, por lo que no es posible sacar de ellos ninguna conclusión que demuestre los perjuicios de los campos magnéticos. Los "mejores estudios" publicados hasta ahora son contradictorios. Algunos no indican ninguna conexión entre campos EM y leucemia o cáncer de cerebro. Uno, de 1995, no ha encontrado relación con la leucemia pero sí con el cáncer cerebral, mientras otro estudio, sueco, de 1993 indicaba una asociación con la leucemia pero no con el cáncer cerebral. La dificultad de encontrar factores de riesgo estadísticos para causas de muerte poco frecuentes viene determinada, fundamentalmente, por la concurrencia de otros factores, como el estatus económico o los contaminantes químicos, que enmascaran los datos.

Además no se ha conseguido identificar ningún mecanismo biofísico que permita relacionar los campos EM de muy baja intensidad y el cáncer. Más aún, la falta de relación entre ambos fenómenos puede explicarse por algunos cálculos que demuestran que los campos EM naturales, existentes en las células por su propia actividad fisiológica, son de mayor magnitud que los que pudieran derivarse de la proximidad de líneas eléctricas o del funcionamiento de electrodomésticos.

El Consejo de la APS (American Physical Society) aprobó una resolución contra las falsas alarmas por los efectos de los campos electromagnéticos en la salud en abril de 1995, después de varios años de discusión y vigilancia del tema por parte de su Comisión de Asuntos Públicos y apoyada por la División de Biofísica de la misma. En su resolución la APS declaró que los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos

(EM) producidos por las líneas de energía eléctrica o electrodomésticos no tienen base científica, y que los costes de reducción de tales campos y de las reclamaciones legales son "*desproporcionados con relación al riesgo, si es que existe alguno*". Esta es la postura más enérgica que haya tomado sobre el tema ninguna sociedad científica de importancia.

#### 7.4. Resonancia magnética: una visión interior

En época reciente la resonancia magnética nuclear y la magnetoencefalografía se han establecido como herramientas de diagnóstico e investigación de primera magnitud para muchos casos imposibles de atacar con otras técnicas. La resonancia magnética nuclear es hoy en día una técnica de diagnóstico corriente en todos los hospitales del mundo. El efecto se basa en la interacción entre un campo magnético y el pequeñísimo imán que reside en los núcleos de hidrógeno, presentes en el agua que nos integra en más del 70 % y en todas las moléculas orgánicas que completan nuestra composición. La magnitud del efecto es extremadamente pequeña, pues el momento magnético del protón, que constituye el núcleo del Hidrógeno, es solamente la milésima parte del electrón. Además no es la presencia de los protones, por demás ubicuos en nuestro cuerpo, lo que debe detectar la RMN, sino sutiles diferencias en el movimiento de precesión de su momento magnético en el campo aplicado externamente, que se deben a las características del tejido circundante. Esta posibilidad, sutil, es la que permite a la RMN establecer diferencias entre tejidos que son casi iguales para los rayos X, pues su composición promedio es prácticamente idéntica. Por eso su potencia es mucho mayor en la detección de cambios en los tejidos "blandos" como tumores, lesiones musculares, tendones, etc. y todo ello sin la invasión de nuestro organismo



por los energéticos rayos X que pueden producir efectos secundarios en los órganos que atraviesan, y de hecho los producen, y graves, si no son cuidadosamente dosificados.

El desarrollo de la RMN ha sido posible gracias a la conjunción de una serie de factores de tecnología punta a finales del siglo XX. Así como los rayos X pueden ser utilizados en condiciones diversas y con un equipo bastante rudimentario, la RMN necesita por un lado de grandes campos magnéticos que no pueden ser producidos más que por medio de bobinas superconductoras. Estas a su vez deben de ser enfriadas a temperaturas cercanas al cero absoluto mediante el único refrigerante que sigue siendo líquido a tales temperaturas, el helio, elemento terriblemente escaso en la tierra y que de hecho fue descubierto en el espectro luminoso del sol, de ahí su nombre. Estas dificultades habían limitado el uso los materiales superconductores, y del Helio líquido necesario para enfriarlos, a grandes laboratorios de investigación durante la mayor parte del siglo. Solamente los avances recientes en criogenia, como los aislantes térmicos más eficientes que el vacío, y el desarrollo de superconductores de última generación, ha propiciado la utilización de estos campos magnéticos en aplicaciones cotidianas como la RMN.

Por otra parte la electrónica necesaria para la detección de la resonancia y para el almacenamiento y tratamiento de las señales obtenidas exige potentes ordenadores. Nada que ver con la sencilla placa fotográfica de los rayos X, aunque al final la costumbre del médico, labrada en el campo de estos últimos, ha implantado el uso de la placa fotográfica como medio de reconocimiento visual del resultado de la exploración, y es este formato el que utilizan los ordenadores para entregar los secretos de nuestro interior después de sondearnos mediante el magnetismo de nuestros

protones.

### **7.5. Magnetoencefalografía: la transmisión del pensamiento.**

Más recientemente, y por ello aún no extendida como técnica de diagnóstico a nivel mundial, ha hecho aparición una nueva herramienta magnética que permite el viejo sueño de "leer" nuestro pensamiento. La telepatía magnética (mejor dicho la Magneto Encefalo-Grafía o simplemente MEG) se basa en la detección de los infinitesimales campos magnéticos producidos por las corrientes eléctricas que se propagan en los axones de las neuronas activas en nuestro cerebro o de otras partes del cuerpo. Para hacerse una idea de lo débil de estos campos podemos indicar que se miden en femtotesla (del orden de la billonésima parte del campo magnético terrestre). Las corrientes nerviosas de los músculos del abdomen y del corazón permiten estudios magnéticos externos de estos órganos. Un magnetocardiograma es relativamente simple, aunque solamente se puede llevar a cabo mediante sensores superconductores tipo SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) que son los más sensibles posibles, pues están limitados solamente por consideraciones cuánticas infranqueables. Las corrientes cerebrales, y particularmente aquellas correspondientes al pensamiento sin estímulos sensoriales presentes (actividad evocada), tienen intensidades mucho menores y necesitan técnicas de supresión de ruidos magnéticos extraordinariamente sofisticadas. La técnica de la magnetoencefalografía, como toda técnica basada en dispositivos superconductores necesita, hoy por hoy, suministro de Helio líquido para refrigeración de estos materiales. Por ello es cara y compleja. Un equipo comercial puede verse en la figura.



El casco, parecido a un secador de pelo, está compuesto por unos 200 sensores encerrados en un criostato lleno de Helio líquido que tiene que estar perfectamente aislado térmicamente pero lo más cerca posible del cerebro del paciente. Por otra parte todo el sistema tiene que estar apantallado de posibles campos magnéticos externos, que perturben su funcionamiento. Para ello la habitación entera está forrada de varias capas de materiales magnéticos de alta permeabilidad y se utilizan técnicas de compensación de campos provenientes de objetos alejados basadas en determinaciones de gradientes (variaciones espaciales) del campo magnético, como los que pueden esperarse de la actividad de un emisor muy cercano al detector.

Sin embargo esta técnica es potencialmente muy interesante pues, a diferencia de la RMN, da información funcional y respecto del electroencefalograma, la fuente es localizable en tres dimensiones. Por otra parte es una técnica no invasiva, lo que la hace infinitamente menos peligrosa que otras basadas en radioisótopos, como el PET (Positron Emission Tomography) ya extendida por nuestras latitudes y ampliamente utilizada en estudios funcionales del cerebro pues, a través de la actividad metabólica a la que es sensible, permite determinar fallos funcionales inadvertidos a otras técnicas. Es previsible, pues, que en un futuro próximo la MEG desplace al PET en la mayor parte de sus aplicaciones.

## 8. ADMINÍCULOS ACTUALES Y FUTURIBLES

### 8.1. Nos vigilan, nos transportan, nos ayudan: Imanes hasta en la cocina

La tecnología actual hace uso de imanes y otros productos magnéticos de manera exhaustiva tan-

to en actividades industriales como domésticas o cotidianas. Así un coche actual lleva más de veinte imanes permanentes en motores y otros dispositivos. Los bolsos de la mujeres, las agendas y carteras, las puertas de las neveras y alhacenas, llevan imanes para facilitar su cierre y apertura. La tecnología magnética está en todas partes.

Quizá una de las aplicaciones más inadvertidas sea la de control y vigilancia. En el autobús o el metro los billetes son "inteligentes" y saben cuanto tienen que cobrarnos y cuanto crédito nos queda para seguir viajando. Las tarjetas de crédito (con banda magnética) nos permiten pagar en el supermercado, la autopista o la gasolina y una "llave" magnética permite abrir la puerta de la habitación del hotel, aparcar en zonas reservadas o entrar en nuestro garaje de casa, subir al telesilla en la estación de esquí, etc... Otras vigilancias más sutiles son también magnéticas, como las de las etiquetas visibles o no en los grandes almacenes, en las bibliotecas, tiendas de discos, etc... Dentro de éstas, las etiquetas magnetoacústicas se basan en excitar magnéticamente una vibración elástica resonante en un material magnetotróctivo (es decir aquél que se deforma en presencia de campos magnéticos). Este sistema es particularmente fiable y sensible y permite cumplir la labor de vigilancia sin dar lugar a falsas alarmas que puedan ocasionar reclamaciones millonarias por parte de clientes injustamente acusados de hurto.

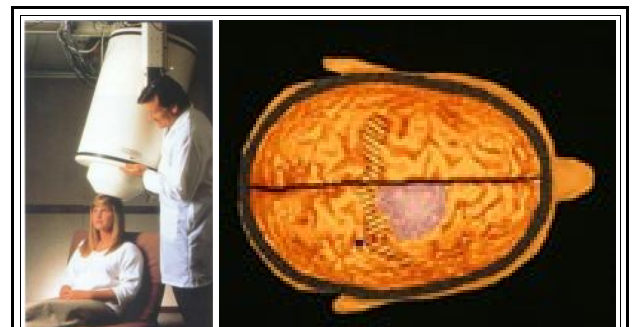


Figura 11: Magnetoencefalógrafo comercial basado en sensores SQUID y localización de un tumor cerebral



Todas estas aplicaciones no exigen grandes aparatos de control ni por lo tanto grandes inversiones, ni personal al cargo, por lo que se prevé un aumento de su incidencia, así como la aplicación a nuevas situaciones. Quizá la extrapolación más atractiva de las etiquetas magnéticas de vigilancia sea el reconocimiento de artículos sin contacto. Mediante etiquetas específicas que permitan conocer no solamente el paso por el detector de un artículo sino el tipo de artículo y la cantidad de ellos se podrá, quizá, en un futuro próximo sacar la compra del supermercado sin tener que pasar los artículos uno a uno por la caja. Un arco de reconocimiento detectará nuestra compra dentro del carro y presentará la factura para su comprobación y pago, mediante una tarjeta también magnética, con rapidez, precisión y, lo más interesante para los empresarios, sin intervención de personal. Este mismo mecanismo puede llevar la gestión de almacenes inventariando el contenido completo de los camiones de entrada y de salida que pueden ser descargados y manipulados por robots, también guiados por las etiquetas magnéticas.



**Figura 12:** Tren de levitación magnética alemán en pruebas

La aplicación más interesante del magnetismo en el transporte del futuro cercano está en los trenes de levitación magnética, tanto con imanes convencionales como mediante superconductores, que esperan alcanzar velocidades cercanas a

los de 500 Km/hora haciendo competencia a los aviones en trayectos cada vez más largos. Un prototipo de estos trenes está en servicio en Japón y otros se prueban ya en Alemania y EEUU. La ausencia de rozamiento, que se consigue por la repulsión de imanes enfrentados o por la inducción magnética en los superconductores, permite importantes aumentos de velocidad y ahorro de energía, por lo que es de suponer que la tecnología de levitación se aplicará a cada vez más situaciones. Por ejemplo, un proyecto reciente desarrollado por TEKNIKER, y en el que colaboramos desde nuestro Departamento de Electricidad y Electrónica en la Facultad de Ciencias, pretende poner a punto un cojinete de levitación magnética para máquinas herramientas que permita trabajar a 50.000 rpm.

## 8.2. ¿Un futuro más magnético?

Hoy en día las aplicaciones del magnetismo se han extendido a una gran serie de campos científicos y técnicos que, como ramas de un árbol, radian desde el tronco común bien enraizado en la piedra imán de Magnes. La figura muestra aquí una representación esquemática del estado actual del magnetismo y sus implicaciones.

No vamos a pretender avanzar una tendencia del porvenir del magnetismo a nivel científico, pero dejando volar nuestra imaginación podemos, para terminar, especular con nuevos inventos y aplicaciones que harán del imán un compañero aún más omnipresente en nuestra vida futura. Así podemos imaginar:

- Transportes colectivos e individuales de bajo consumo, sustentados por levitación magnética,
- Sistemas de reconocimiento a distancia que nos indican el lugar libre más cercano en el aparcamiento, o el contenido del



carro de la compra y su valor, que se paga mediante otra detección magnética de nuestra tarjeta de crédito.

- Ordenadores cuánticos y sistemas de almacenamiento de memoria increíbles, que nos permitan transportar con nosotros todo el saber y el arte producido por la humanidad, además de otras informaciones más rastreras, como los horarios de vuelos o la cotización de Bolsa, etc....
- Reconocimientos médicos sin ningún riesgo adicional realizados rutinariamente mientras esperamos la entrevista con el médico...
- Medicinas, que unidas a pequeñas partículas magnéticas, puedan ser guiadas por el interior del cuerpo mediante campos externos hasta el punto exacto donde deben surtir efecto.
- Incluso, por qué no, la lectura del pensamiento y el envío de órdenes mentales a aparatos o comunicaciones "telepáticas" entre personas.

En todo caso es seguro que el atractivo del imán seguirá también ligado al misterioso efecto fisiológico que sentimos al sujetarlo en nuestras manos frente a un trozo de hierro y experimentar la "acción a distancia" entre ambos. Esta sensación que ha excitado la imaginación de muchos científicos y les ha alimentado la curiosidad para desentrañar los misteriosos secretos de la naturaleza, seguirá acompañando a la especie humana y asombrándola por mucho tiempo. Eso espero al menos ...

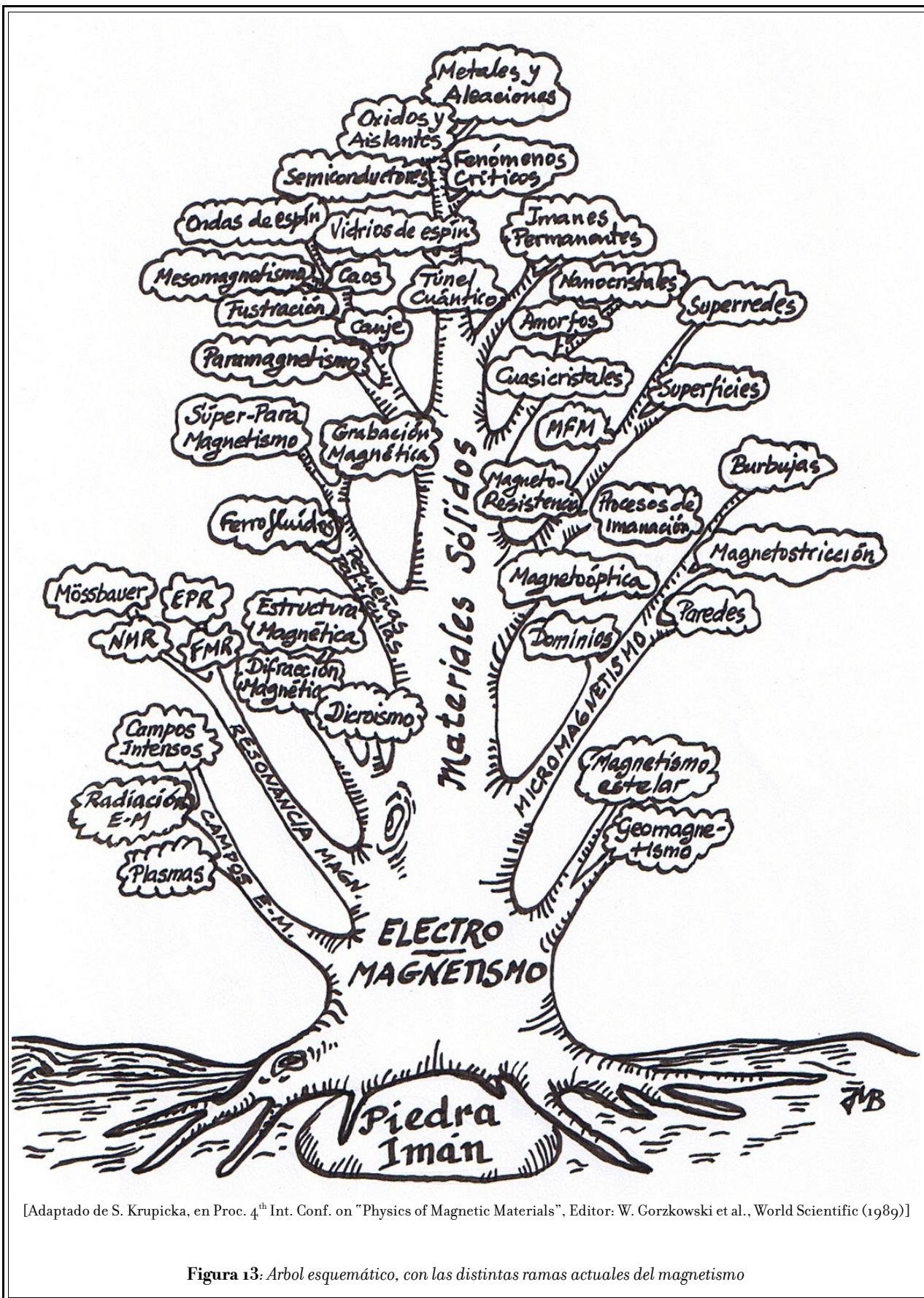
Muchas gracias.

Mila esker.

## BIBLIOGRAFIA

- Ball, T.S. and Alexander, D.D., 1998; *Catching Up with Eighteenth Century Science in the Evaluation of Therapeutic Touch*, **Skeptical Inquirer**, 22, July/August, pág. 31
- Bennett Jr. W.R., 1994; *Cancer and Power Lines*, **Physics Today**, April, pág 23
- Enz, U., 1982, *Magnetism and magnetic Materials: Historical developments and present role in Industry and Technology*, en **Ferromagnetic Materials**, vol 3, Editor E.P. Wohlfarth, North Holland, Amsterdam
- Farrington, B., 1979; *Ciencia Griega*, Icaria, Barcelona
- Guinnessy, P., 2002; *Maglev Train Up and Running*, **Physics Today**, September, pág 32
- Hernando, A., 1979; *Memoria de cátedra*, Universidad Complutense, Madrid
- Hernando, A., 1981; *Introducción a la historia del magnetismo*, **ARBOR**, tomo CVIII, nº 424, Madrid
- Hernando, A., 2000; *Imanes: su misterioso atractivo y su utilidad*, Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias, Madrid
- Krupicka, S., 1989; *The evergreen magnetism; some remarks concerning its past, presence and future*, Proc. 4th Int. Conf. on "Physics of Magnetic Materials", W.Gorzowski et al. Eds., World Scientific, Singapore
- Livingstone, J.D., 1996; *Driving Force: The Natural Magic of Magnets*, Harvard Univ. Press, Cambridge (Massachusetts)
- Livingstone, J.D., 1998; *Magnetic Therapy: Plausible attraction?*, **Skeptical Inquirer**, 22, July/August, pág. 25
- Mneyán, M.G., 1989; *Nuevas profesiones del Imán*, Ed. Mir, Moscú
- Pellón, I. y Román, P., 1999; *La Bascongada y el Ministerio de Marina*, Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País, San Sebastián
- Strandh, S., 1984; *Historia de la Máquina*, Ed. Raíces, Madrid
- Varios autores, 1988; *Eléments d'Histoire du Magnetisme*, Une exposition à la Faculté de Droit, Paris
- Williams, S.R., 1931; *Magnetic Phenomena: an Elementary Treatise*, Mc Graw Hill, New York





[Adaptado de S. Krupicka, en Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. on "Physics of Magnetic Materials", Editor: W. Gorzkowski et al., World Scientific (1989)]

Figura 13: Arbol esquemático, con las distintas ramas actuales del magnetismo