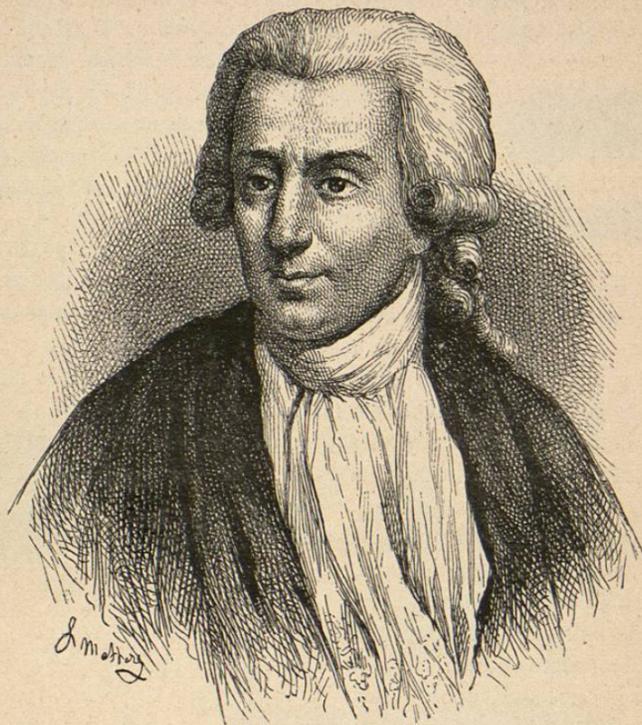


tenga un momento á reflexionar, y conocerá que todo el secreto de este poder puede resumirse en tres palabras. Estas tres palabras, la fórmula mágica, el *¡Abrete, Sésamo!* de la ciencia contemporánea, son: OBSERVACIÓN, EXPERIMENTO, CÁLCULO MATEMÁTICO.

Con los diferentes nombres de *Electricidad* y *Magnetismo* se clasifican, como es sabido, dos series de fenómenos que por espacio de mucho tiempo se han podido creer extraños uno á otro, pero á los que hoy se puede considerar dimanados de una misma causa. Por lo menos, la experiencia demuestra ya que, en ciertas circunstancias, los fenómenos eléctricos y los magnéticos ejercen recíproca influencia entre sí y que las fuerzas que los producen son convertibles unas en otras. De aquí ha resultado una nueva rama de la ciencia, que participando de las dos primeras ha recibido por esta razón el nombre de *Electro-magnetismo*. Desde que el genio de los Ørstedt y Ampère reveló al mundo setenta años atrás esta ciencia especial, desarrollada luego por los Arago, Faraday y otros cien físicos, han sido tan rápidos sus progresos, que quizás igualan en importancia á los de las ciencias particulares de que ella misma se deriva. Fácil será convencerse de la verdad de este aserto por el puesto que ocuparán en este volumen los capítulos consagrados al electro-magnetismo y sus aplicaciones.

Mas aunque la teoría del Magnetismo y de la Electricidad haya dado grandes pasos, sobre todo en el presente siglo, todavía dista mucho de haber llegado al grado de precisión y de rigor que hemos comprobado ya en las teorías de la Gravedad, de la Gravitación y de la Luz, y que volveremos á hallar en la del Calor. Pero ¿debemos extrañarnos de ello? ¿No es ya sorprendente ver la prodigiosa acumulación de descubrimientos hechos de trescientos años á esta parte en un terreno desconocido é inexplorado enteramente? Con todo, además de estar ya casi probado que el Magnetismo es un caso particular de la Electricidad, como la Gravedad lo es de la Gravitación universal, se columbra ya la posibilidad de relacionar la fuerza eléctrica con las demás fuerzas físicas. La conversión de la electricidad en calor, en luz, en atracción molecular y en afinidad química, ha abierto ante el teórico nuevos horizontes, de los que brotará, como esperamos, la luz, tan luego como aparezca uno de esos genios poderosos que transforman la ciencia cuando haya llegado el momento de la posibilidad de esta transformación. Antes que Newton, el teórico de la gravitación, aparecieron Keplero y Galileo; antes que Young y Fresnel, los fundadores de la teoría de las ondulaciones luminosas, el mismo Newton y Huygens habían descubierto las leyes de la Óptica; antes que Máyer, Rumford, Gay-Lussac y Fourier habían despejado el terreno y descubierto las leyes en que más adelante debía cimentarse la teoría del Calor. La Electricidad se encuentra hoy en esa fase de transformación que hace pasar una ciencia puramente experimental al estado de ciencia matemática, cuyos hechos todos pueden someterse al cálculo, siendo dable prever que no tardaremos en poseer una teoría positiva de esta rama de la ciencia.

Mientras tanto, bastará la descripción de los fenómenos y sus leyes, la reseña de las mil aplicaciones útiles que se ha sabido sacar de ellos, para satisfacer ampliamente la curiosidad del público amigo de la ciencia, tarea que procuraremos desempeñar en este segundo tomo del MUNDO FÍSICO, con arreglo al plan que nos hemos trazado para el conjunto de esta obra.



GALVANI

LIBRO PRIMERO.—EL MAGNETISMO

CAPÍTULO PRIMERO

LOS IMANES

I

FENÓMENOS GENERALES DEL MAGNETISMO

Los mineralogistas dan el nombre de *hierro oxidulado* ó *hierro magnético* á un mineral de este metal que se encuentra en muchas minas de ambos continentes. Conforme lo indica su fórmula química, $Fe + Fe^2O^3$, este mineral se compone de protóxido y de sesquióxido de hierro, y cristaliza en forma de octaedros ó de dodecaedros romboidales. Ciertos ejemplares de hierro oxidulado gozan de la propiedad de atraer hacia algunos de sus puntos las partículas de hierro ó de acero que se les acerca, y á causa de este fenómeno se les da el nombre de *piedras imanes* ó simplemente el de *imanes*.

naturales, para distinguirlos de los pedazos de acero á los cuales se consigue comunicar la misma virtud atractiva y que se designan con el nombre de *imanes artificiales*.

Las minas ó yacimientos de hierro magnético más importante existen en Suecia y Noruega, en forma de masas compactas dotadas de brillo metálico, y también en la isla de Elba, en el seno del cúmulo de mineral que se explota en el cabo Calamita. Pero las hay asimismo en Auvernia, Alemania, Estados Unidos y Bona en Argelia. La piedra imán es por lo común de color negruzco ó pardo, á veces ceniciento; de aspecto metálico, según acabamos de decir, y su densidad de 5,10. Es el mejor de todos los minerales de hierro.

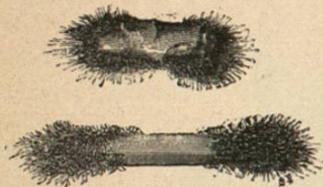


Figura 1.—Atracción del hierro por los imanes

No hay nada tan fácil como poner en evidencia la atracción del hierro por los imanes, naturales ó artificiales. Basta para ello meterlos en un montón de limaduras de hierro; al sacarlos, se ve que detienen en ciertos puntos de su superficie un crecido número de partículas metálicas agrupadas á modo de moños ó escobillones más ó menos densos (figura 1). Los pedazos de hierro ó de acero, los clavos y las agujas, atraídos hacia los mismos puntos de los imanes, se precipitan en ellos cuando la distancia que los separa es lo suficientemente reducida.

Hácese patente la misma propiedad por medio de un aparatito llamado *péndulo magnético*, que consiste simplemente en una esferilla de hierro suspendida de un hilo (fig. 2). Si se acerca lateralmente el imán á la bolita, al acercarse ésta á aquél hace que el hilo se desvíe de su dirección vertical, siendo la atracción tanto más fuerte cuanto menor sea la distancia del imán. Por lo demás, y según permite suponerlo el principio de igualdad de la acción y la reacción, si el imán atrae al hierro, éste atrae á su vez á aquél, y por lo tanto un imán que pueda moverse suspendiéndolo del modo representado en la figura 3, oscila cuando se le acerca lo bastante á un cilindro de hierro inmóvil y gira alrededor de su eje de suspensión para reducir en lo posible la distancia que de él lo separa.

Los anteriores experimentos demuestran que la atracción magnética no se ejerce solamente por contacto, sino también á alguna distancia; más adelante veremos que su intensidad va creciendo si ésta disminuye y expondremos la ley en virtud de la cual sucede así. Pero se ejerce también cuando el imán y el hierro se interponen cuerpos extraños, sólidos ó líquidos, y el espesor de estos cuerpos no cambia la intensidad de la atracción, ó por lo menos no resulta ésta modificada en razón de la distancia. Si

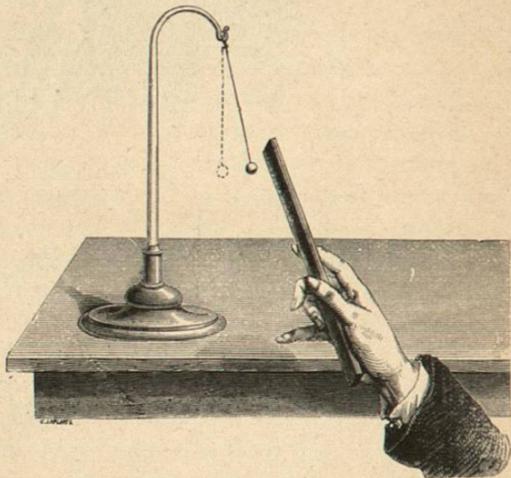


Fig. 2.—Péndulo magnético

sobre una tablita, un disco de cartón, de porcelana ó de cobre se echan limaduras de hierro, agujas ó clavos, y en seguida se pasa un imán por debajo, veremos cómo se mueven las partículas y fragmentos metálicos, cambiando de sitio y siguiendo los movimientos del imán. La atracción magnética se efectúa en el vacío lo mismo que en el aire.

Hase creído por espacio de mucho tiempo que el hierro era la única substancia que podía ser atraída por el imán, la única *substancia magnética*, valiéndonos de la expresión que sirve en física para designar esta propiedad. Sin embargo, antes de conocerse los procedimientos de imanación, es decir, el modo de transformar en imán una barra de acero, cuando los únicos imanes conocidos eran los naturales, sabíase ya que los pedazos de mineral que no atraen el hierro eran á pesar de esto magnéticos, es decir, que los imanes los atraían, como atraen á otros muchos minerales de hierro.

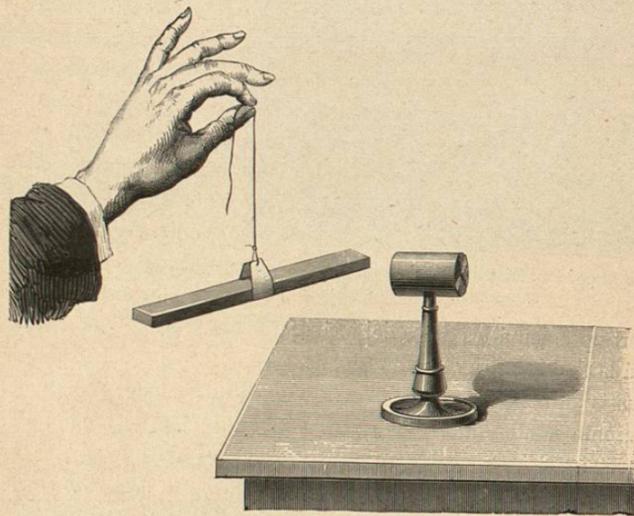


Fig. 3.—Atracción de un imán por el hierro

Posteriormente se ha reconocido que varios metales gozan de la misma propiedad que el hierro, como el níquel, el cobalto y el cromo. El cobalto no es magnético sino cuando está exento de arsénico; el cromo no lo es á la temperatura ordinaria, pero sí, según Wöhler, cuando se la hace bajar á 15° ó 20° bajo cero. Se había clasificado el manganeso entre las substancias magnéticas, pero parece indudable que tan sólo debe esta propiedad al hierro que contiene, y que la pierde si se le priva enteramente de él.

Hay que cuidar de no confundir las substancias magnéticas con los imanes. Si los imanes naturales ó artificiales y las substancias magnéticas se atraen recíprocamente, como acabamos de ver, esto no significa que las propiedades de unos y otros sean las mismas. Hay una diferencia capital que debemos indicar desde luego, y es que las substancias simplemente magnéticas no se atraen mutuamente: un pedazo de hierro que atrae á un imán no tiene acción alguna sobre el hierro si no está cerca de algún imán.

Existe asimismo otra diferencia sobre la cual conviene que nos extendamos algo, y es que el pedazo de hierro experimenta la atracción en todos sus puntos, al paso que en un imán está distribuida con desigualdad la propiedad atractiva, siendo nula en unos puntos y llegando á su máximo en otros. Los experimentos que citamos á continuación pondrán de manifiesto esta diferencia característica entre las substancias magnéticas y los imanes.

Examinando un imán después de sacarlo de entre un montón de limaduras de hierro (fig. 1), se ve que éstas no tan sólo se adhieren más especialmente á dos regiones opuestas, sino que además presentan en la colocación de sus partículas una dirección particular, como si en cada una de las regiones en que la atracción es mayor hubiera un centro de atracción. En cambio, en la mitad de la barra se ve una región á la que

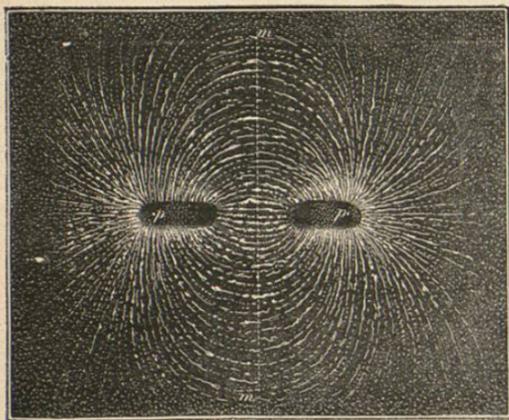


Fig. 4.—Espectro magnético. Distribución de la limadura de hierro en un imán

no se ha adherido ninguna partícula de hierro. Dase el nombre de *polos* del imán á los dos puntos extremos de que hablamos, y el de *línea neutra* á la sección media del imán. Véase otro procedimiento que demuestra de un modo más comprensible todavía la existencia de los polos y de la línea neutra. Colócase sobre la barra que constituye el imán un cartón, espolvoreándolo de limaduras de hierro muy finas con un tamiz. Al punto se colocan las

partículas de metal de un modo regular alrededor de los puntos

p y p' , que corresponden á los polos del imán, formando filas convergentes y simétricas con relación á la línea neutra mm' (1) (fig. 4).

A veces un imán tiene más de dos polos; además de los extremos, de que acabamos de hablar, presenta puntos intermedios á los que se adhiere la limadura y que están separados entre sí por líneas neutras, como se ve en el espectro magnético representado en la figura 5. Llámaseles *puntos consecuentes*. Ahora ya es fácil expresar la diferencia que existe entre los imanes y las substancias magnéticas: éstas no tienen polos ni líneas neutras, y cualesquiera que sean los puntos de las mismas que se acerquen á los polos de un imán, hay siempre reciprocidad de atracción, al paso que un imán sólo la ejerce por sus polos.

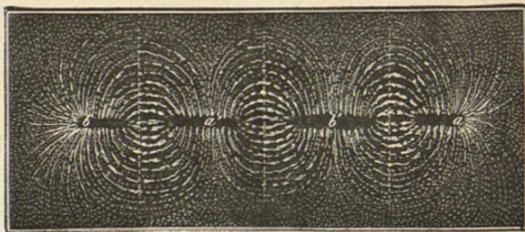


Fig. 5.—Puntos consecuentes

Para distinguir los imanes de las substancias simplemente magnéticas, se dice que están dotados de *magnetismo polar*. Cuando tratemos de la acción de los imanes sobre los imanes, describiremos otros fenómenos que acabarán de precisar esta distinción.

(1) Para estudiar la disposición de estas filas de limaduras, de estas *líneas de fuerza* como Faraday las llamaba, empleaba éste el siguiente método cuya descripción tomamos de la obra de Gordón titulada *Tratado experimental de Electricidad y Magnetismo*:

„Incrústese el imán en una tablita de espesor igual ó mayor que el de éste, de suerte que la superficie superior del imán se confunda con la superficie superior de la tabla. Póngase sobre todo una hoja de papel lisa sujeta á una mesa, y en seguida, con un tamiz, espolvoréese todo el papel de limadura de hierro muy fina.

„Cuando una partícula de metal cae cerca del imán, se imanta por inducción y gira sobre sí misma, de suerte que su mayor diámetro coincide con la línea de fuerza que pasa por el punto en que se encuentra.

Limitémonos por ahora á decir que entre las substancias magnéticas hay algunas á las que se puede comunicar de una manera duradera, permanente, el magnetismo polar, como sucede con el hierro dulce, el acero, el cobalto y el níquel. Mas por lo regular estos cuerpos imanados pierden su propiedad cuando se les somete á una temperatura más ó menos elevada. El níquel pierde su magnetismo polar á los 350°, y el cobalto á la temperatura del rojo blanco. El calor ejerce la misma influencia en los cuerpos simplemente magnéticos. Newton fué el primero en advertir que el imán no atrae ya el hierro cuando se le calienta al rojo; Barlow ha hecho ver que sucede lo propio con el palastro calentado al rojo blanco, y nosotros hemos visto que el cromo no es magnético á la temperatura ordinaria.

¿Debe deducirse de estos hechos, como pensaba Pouillet, que todos los cuerpos serían magnéticos si se pudiera bajar lo suficiente su temperatura? Únicamente la experiencia podrá decidir sobre la legitimidad de esta hipótesis. Más adelante veremos que todos los cuerpos son magnéticos cuando se los somete, en ciertas condiciones, á la acción de imanes de gran potencia.

Antes de proseguir la descripción de los fenómenos peculiares de los imanes y de las substancias magnéticas, cuya causa desconocida ha recibido el nombre de *magnetismo*, echemos una rápida ojeada sobre la historia del imán desde la antigüedad hasta nuestros días.

II

EL MAGNETISMO EN LA ANTIGÜEDAD

Los griegos conocían ya en el siglo VII antes de nuestra era la propiedad fundamental del imán, la de atraer el hierro, puesto que Thales hace mención de ella: el nombre griego del imán natural era *litos erakleia*, *pedra de Hércules*, ó según otros, *pedra de Heraclea*. Más adelante, desde el tiempo de Platón, se dió otro nombre al imán, el de *magnetis litos*, *pedra de Magnesia*, lo cual hace suponer que abundaba en las inmediaciones de una de las dos ciudades de Lidia que llevaban el nombre de Magnesia (1); pero los autores antiguos no están de acuerdo acerca del punto de origen

Cada uno de estos pequeños imanes atrae la partícula vecina hasta formarse una cadena continua de limadura á lo largo de cada una de las líneas de fuerza. De vez en cuando se dan golpes en la tabla para impedir el frotamiento de la limadura sobre el papel.

„Si se quieren conservar las curvas resultantes, se pone encima un cartón con su superficie inferior engomada. Cuando la goma se seca, la limadura se pega al cartón. En vez de emplear papel, se puede colocar el imán con preferencia bajo una placa de cristal, y entonces no hay necesidad de incrustarlo en la tablita.

„El mejor medio de preparar estas curvas, para proyectarlas en una pantalla con una linterna mágica, consiste en extender sobre una placa de vidrio una capa de masilla transparente, que se derrite al calentarla. Cuando se ha endurecido enteramente, se pone un imán debajo del vidrio y se le espolvorea de limadura. En seguida se lleva cuidadosamente la placa á una estufa y se la calienta hasta que la masilla se ablanda; la limadura penetra entonces en ella.

„Retirando la placa de vidrio y dejándola enfriar, quedan todas las partículas fijas en su posición.

(1) Esta opinión parece corroborada por la denominación de *erakleia litos*, puesto que en los confines de la Lidia había también una ciudad llamada Heraclea. Según Th. H. Martin, parece que esta opinión, muy extendida en tiempo de Platón, procedía de una mala inteligencia, de una confusión á causa de la cual se dió también al imán el nombre de *pedra de Lidia*, *litos lidia*. Por último, los griegos usaban asimismo la denominación de *pedra de hierro*, *sideritis litos*. Aristóteles llama simplemente al imán *i litos*, es decir, *pedra por excelencia*: los latinos la llamaron *magnes*, de donde se deriva nuestra palabra *magnetismo*. En la Edad media, además del nombre de *magnete*, se empleó para designar al imán la palabra *adamas*, que era también el del diamante.

del imán, pues unos lo suponen en la Lidia, otros en la Troade, y otros en la India ó en las islas situadas entre la de Trapobana y el Quersoneso de Oro.

Los conocimientos de los antiguos sobre las propiedades del imán se redujeron á muy poca cosa hasta la Edad media: sabíase que esta piedra atrae y retiene el hierro por contacto, pero ignoraban que un imán libre es también atraído por el hierro, y aun muchos filósofos se tomaron el trabajo de explicar por qué no sucedía esto. Ninguna noción sobre la polaridad magnética de los imanes, y aunque se consignaron algunos hechos que parecen debidos á esta propiedad, nadie los comprendió. Por ejemplo, según Plinio, existía una especie de imán *etiópico*, que atraía á los demás imanes: llamaba *theamede* á otra piedra que tenía la propiedad de repeler el hierro, y que sin duda sería un imán ordinario, al cual acercaban un pedazo de hierro imanado. Tampoco sabían los antiguos que se pudiera comunicar al hierro de un modo permanente la propiedad de la piedra imán; sin embargo, conocían la imanación por contacto, y formaban una cadena magnética suspendiendo unos de otros anillos de hierro á continuación de un primer anillo puesto en contacto inmediato con el imán; habían observado que este poder del hierro cesa tan luego como se interrumpe el contacto; y por último, Claudiano dice que el imán se refuerza por el contacto del hierro.

En el canto VI de *La naturaleza de las cosas*, de Lucrecio, se lee este pasaje: "Sucede también que el hierro huye del imán, porque se le ve huir de él y buscarlo alternativamente." Parece desde luego que el poeta haya tenido en cuenta los fenómenos de atracción y repulsión magnéticas; pero lo que sigue prueba que lo que él tomaba por repulsión era en realidad la atracción del hierro á cierta distancia al través de los cuerpos extraños, porque añade: "He visto estremecerse al hierro de Samotracia, y agitarse á la limadura en vasijas de bronce, cuando se ponía debajo la piedra imán; hasta tal punto parece que *el hierro huya del contacto con la piedra*." Si Lucrecio hubiera vuelto la vasija sin cesar de presentar el imán por el lado opuesto, hubiera visto con gran sorpresa que las partículas de hierro quedaban suspendidas á pesar de la gravedad y comprendido que allí había siempre un fenómeno de atracción.

Los antiguos conocieron perfectamente la fuerza de los imanes y su poder de adherencia: esta propiedad era la que más les sorprendía, así fué que exageraron desmedidamente sus efectos, y tanto en la Edad antigua como en la media circularon por espacio de siglos enteros las fábulas y patrañas más inverosímiles. Mencionemos algunas. Según Plinio, Tolomeo Filadelfo y su arquitecto Dinocaris trazaron para la reina Arsinoe el plano de un templo cuya bóveda debía construirse con piedra imán, de suerte que la estatua de hierro de la nueva diosa quedara suspendida por simple contacto; Ausonio da por realizado este proyecto. Refiere San Agustín que los sacerdotes paganos, para engañar á las gentes, habían puesto piedras de imán ocultas en la bóveda y en el pavimento de un templo, calculando la fuerza de aquéllas de modo que mantuvieran en el aire y en equilibrio una estatua de hierro, que, no pudiendo por esta causa subir ni bajar, presentaba á los fieles la apariencia de un milagro perpetuo. Muchos historiadores de la antigüedad y de la Edad media han referido casos análogos, el más famoso de los cuales es el de la suspensión de la tumba de Mahoma de la bóveda de la mezquita en que estaba.

Otras fábulas por el estilo demuestran cuánto había llamado la atención de los antiguos la misteriosa virtud de la atracción magnética. "El célebre astrónomo y geógrafo Tolomeo reproduce una versión popular, de cuya veracidad no responde, según la cual las naves que van á las islas Maniolas quedan retenidas por una fuerza misteriosa si al

construirlas no se ha tenido la precaución de poner, en vez de clavos de hierro, clavijas de madera. Tolomeo sospecha que pudieran ser causa de este fenómeno las grandes minas de imán situadas en dichas islas." A juzgar por la posición que Tolomeo asigna á las islas Maniolas, entre Trapobana y el Quersoneso de Oro (Ceilán y la península de Malacca), estaban sin duda comprendidas entre los archipiélagos de Andamán ó de Nicobar. "Plinio cuenta que cerca del Indo hay dos montañas, una de las cuales atrae el hierro y la otra lo rechaza, en términos de que si un viajero lleva clavos de hierro en su calzado, no puede poner el pie en el suelo en una de dichas montañas, al paso que queda adherido á él en la otra."

Hemos dicho que los antiguos ignoraban los procedimientos de imanación y por consiguiente no conocían los imanes artificiales. Sin embargo, Plinio hace observar que el hierro, cuando ha recibido de su contacto con el imán el poder de atraer al hierro, puede conservarlo mucho tiempo después de haber cesado el contacto; y añade que las armas fabricadas con este hierro, llamado *hierro viviente*, causaban heridas más peligrosas que las otras.

En resumen, todo cuanto los hombres de la antigüedad y de la Edad media sabían acerca del imán se reducía á conocer la propiedad atractiva de éste para con el hierro; y si bien no les era enteramente desconocida la repulsión magnética, la atribuían á una especie particular de imán, lo cual se comprende, dada su absoluta ignorancia de la polaridad magnética. Finalmente, tenían las ideas más exageradas y absurdas sobre el poder de los imanes naturales.

Pronto veremos que hacia los siglos XI ó XII de nuestra era se difundió por Europa el conocimiento de otra propiedad importante: el de la fijeza de la dirección de un imán libre con relación al horizonte de un lugar cualquiera. El uso de la brújula, cuya construcción se basa en esta propiedad fundamental, no tan sólo fué de gran auxilio para la navegación y para la extensión de los conocimientos geográficos, sino que muy en breve hizo posible el estudio más completo de las propiedades del imán, si bien es cierto que este estudio no pudo producir todos sus frutos hasta la introducción del método científico de observación experimental. Los antiguos se limitaban á la mera observación, según se desprende de todo cuanto nos resta de sus escritos; partiendo de algunos hechos sencillos que ésta les revelaba, y que con frecuencia acogían sin comprobarlos y por lo que oían decir, disertaban ingeniosamente, hay que confesarlo, pero también infructuosamente sobre sus causas. Así se explican los escasos progresos que hicieron en las ciencias físicas, y en particular la insignificancia de los datos que recogieron acerca del imán.

III

MAGNETISMO POLAR: ATRACCIONES Y REPULSIONES MAGNÉTICAS

Ocupémonos de los fenómenos de magnetismo polar que presentan los imanes naturales ó artificiales. En los primeros se hallan distribuidos con mucha irregularidad los puntos en que la atracción es preponderante y á los que se da el nombre de polos, lo cual consiste sin duda en la falta de homogeneidad de la materia de que están formados: así es que los físicos se valen con preferencia de los imanes artificiales en los experimentos á propósito para hacer ostensibles las leyes del magnetismo. Estos imanes son por lo común barras prismáticas ó varillas cilíndricas de acero. Si se han tomado