



INSTITUTO de ENSEÑANZAS a DISTANCIA de ANDALUCÍA

**2º de Bachillerato**

**Física**

**Contenidos**

**Interacción electromagnética. Campo magnético:  
Campo magnético**

# 1. Introducción

---



Vídeo de Katina Bourbakis alojado en [Youtube](#)



Vídeo de fq-experimentos alojado en [Youtube](#)

Ambos fenómenos se basan en el magnetismo. Ahora tu pregunta sería: ¿Cómo? ¡Qué dos maravillas! Si te digo que se basan en lo mismo, tu respuesta seguramente sería: ¿Estás loco? o ¡Vete a freír espárragos!

Yo te diría: espera y verás. Con esto te estoy invitando a que sigas la lección que te llevará a asentar un poco más tus conocimientos científicos, que ya son muchos, pero espero que sean más y mejores.

## 2. Fuerza magnética

A tu alrededor puedes encontrar manifestaciones de las fuerzas magnéticas: el tren bala, los motores eléctricos, el aparato de televisión, los altavoces, impresoras, etc.

Los aspectos más comunes, los que más te pueden sonar, del magnetismo son los que podemos percibir con los imanes permanentes, que atraen objetos de hierro que no son magnéticos, y que atraen o repelen otros imanes.

Los conceptos básicos del magnetismo aparecieron en el siglo XVII, desarrollados ampliamente por Coulomb.

Este físico francés, que inventó la balanza de torsión para determinar las interacciones eléctricas, usa también el aparataje para sus determinaciones en las interacciones magnéticas. La dificultad en el magnetismo es que no encontraron polos magnéticos aislados y el hecho dificultaba los experimentos. La genialidad de este científico le llevo a resolver el obstáculo utilizando un imán de bolas, acercándose a la idea del monopol.

Propuso una ley similar a la que expuso para las cargas eléctricas. La fuerza de atracción o de repulsión entre dos polos magnéticos es directamente proporcional al producto de sus masas magnéticas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

$$F \propto m_1 \cdot m_2 ; F \propto \frac{1}{r^2}$$

Uniendo ambas se tiene:

$$F \propto \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

La constante de proporcionalidad es:

$$\frac{\mu_0}{4\pi}$$

Con ella, finalmente tienes la expresión de la ley de Coulomb para las interacciones entre imanes, muy similar a la que dedujo para las cargas.

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

La constante  $\mu_0$  se llama permeabilidad magnética del vacío y tiene un valor de  $4\pi \cdot 10^{-7}$ .

Mira estas imágenes para recordar conceptos y entender un poco mejor la idea de fuerza magnética.



Imagen de Digon3 en [WIKIMEDIA COMMONS](#). CC



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



[mms://zebra.cpd.ua.es/UNIArchivo2/aBelendez/09\\_INTERACCION\\_MAGNETICA\\_.wmv](https://zebra.cpd.ua.es/UNIArchivo2/aBelendez/09_INTERACCION_MAGNETICA_.wmv)

## Curiosidad

### Concepto de masa magnética

La masa magnética se acostumbra a representar con la letra "m" o "p". Pero hay que echar mano, de el pensamiento del campo magnético originalmente. Dicho campo se ponía de manifiesto básicamente en los polos, esos primeros investigadores, Coulomb entre ellos, pensaron que el sustento de dicha perturbación estaba precisamente en los polos y que esta propiedad era consecuencia del material del que estaban constituidos y a la cual se le denominó masa magnética.

Los años dieron un vuelco a la idea, el magnetismo de un imán se debe al alineamiento de las corrientes electrónicas, esta es la forma en la que Ampère explica el fenómeno a través de su teoría. Realmente, se puede concluir que la masa magnética ciertamente no existe, espero que no te líe, siendo, al igual que otras magnitudes de la Física, en realidad un artificio matemático que ofrece la oportunidad de manejar con facilidad las interacciones entre imanes.

## Ejercicio resuelto

Dos masas magnéticas están situadas a una distancia de 8 cm y se repelen con una fuerza de  $10^{-3}$  N.

Si  $m_1$  tiene un valor de 2 A·m ¿Cuál será el valor de la otra masa magnética? ( $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}$  Wb·(A·m)<sup>-1</sup>)

## Mostrar retroalimentación

La expresión de la fuerza es:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Despejando

$$m_2 = \frac{F \cdot 4\pi \cdot r^2}{\mu_0 \cdot m_1}$$

Siendo el resultado 32 A·m.

### Versión del experimento de Oersted



Vídeo de csoriahoyo alojado en [Youtube](#)

Por azar, o eso dice la leyenda, Oersted demostró experimentalmente que existía una relación clara entre los fenómenos eléctrico y magnético. Encontró que una varilla imantada, que podía girar libremente, se reorientaba al pasar la corriente eléctrica por un conductor próximo. Ello le permitió concluir que una corriente eléctrica produce efectos magnéticos alterando la dirección que marcaba originalmente la varilla imantada. Tal situación condujo al propio Oersted a acuñar el término *electromagnetismo*.

Los experimentos fueron más allá, aunque no te lo creas, pasaron corrientes eléctricas por animales muertos o por cadenas de personas, pobrecito aquel que fuese el último.

Bueno, a lo interesante, observaron qué le ocurría a dos hilos conductores cercanos. La experiencia dicta que, o se repelen o se atraen, según el sentido de la corriente.

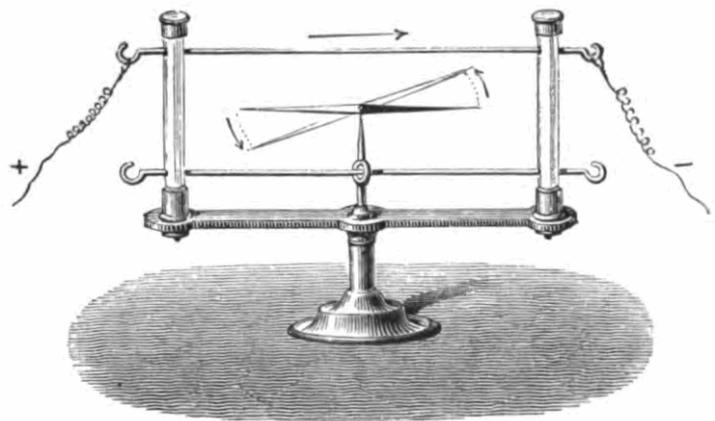


Imagen de Agustin Privat-Deschanel en [WIKIMEDIA COMMONS](#). Dominio público

Por ello, es posible concluir que dos conductores rectilíneos e indefinidos, por los que circulan corrientes eléctricas en el mismo sentido, se atraen; por el contrario, dos conductores rectilíneos e indefinidos, por los que circulan corrientes eléctricas en sentidos opuestos, se repelen.

## Fuerza magnetica entre dos hilos conductores



Vídeo de Luis Santizo alojado en [Youtube](#)

### 3. Campo magnético

---

Inducción magnética de un polo magnético, campo magnético o vector intensidad magnética ( $\vec{B}$ ). Grandes nombres para una magnitud. Intentaré aclararte el concepto.

Si recuerdas el campo gravitatorio y eléctrico, el campo magnético no se aleja en demasía de ellos.

Del campo gravitatorio, se podía decir que era la fuerza gravitatoria por unidad de masa.

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$

Recuerda la fuerza gravitatoria se conoce también por peso,  $\vec{P}$ .

De forma análoga se puede establecer que el campo eléctrico, es la fuerza eléctrica por unidad de carga.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

Por ello, se puede decir que un polo magnético, cuya masa magnética es "m<sub>1</sub>" a una distancia determinada se ejerce sobre otra masa magnética, m<sub>2</sub>, de acuerdo con la ley de Coulomb, una fuerza de origen magnético cuya expresión es:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

De forma análoga a los otros campos también es posible establecer que el campo magnético viene a representar la fuerza magnética por unidad de masa magnética.

$$B = \frac{F}{m}$$

Quedando la inducción magnética expresada:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1}{r^2}$$

Debes haber notado que ha desaparecido el carácter vectorial, la razón que para este campo, como se verá un poco más adelante, el campo y la fuerza magnética no tienen la misma dirección.

Está claro que esta forma de expresarla es un mero formalismo, debes recordar que la masa magnética no tiene una existencia real pero, para andar por casa, vale.

No te preocupes, intentaré que se limpien las ideas de tu cabeza y te quede bastante claro en los próximos apartados.

Elaboración propia

## *Ejercicio resuelto*

Una masa magnética ejerce una fuerza de 5 N sobre otra de 2 A·m a una distancia de 1 m.

Calcula el valor el campo magnético en ese punto.

**Mostrar retroalimentación**

Aplicando la expresión:

$$B = \frac{F}{m} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ T}$$

## 3.1 Ley de Lorentz

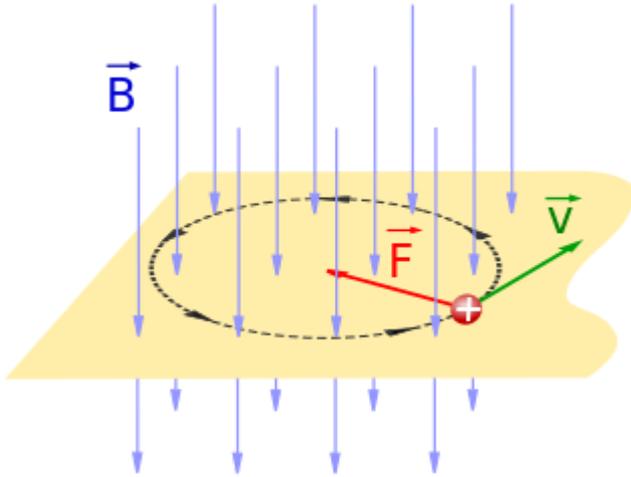


Imagen de Jfmlero en [WIKIMEDIA COMMONS](#). CC

suponer que expresión matemática se debe emplear para determinar todas las características de la fuerza magnética.

Como ya sé que lo has deducido, te lo escribiré aquí para que compares tu acierto, pero no profundizaré ya que el próximo tema tendrás una exposición más amplia.

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Pero si la utilizaré para llegar a alguna conclusión como su unidad.

Desde la expresión, se puede establecer la unidad del campo magnético en el Sistema Internacional. Estableciendo la ecuación de dimensiones correspondiente, se tiene:

$$[B] = \frac{[F]}{[q][v]} = \frac{N}{C \cdot \frac{m}{s}} = T$$

T es el símbolo de Tesla, la unidad del campo magnético en el S.I.

Una manera de aclarar la idea de campo magnético es afinar sobre los efectos que produce.

Lorentz observó qué hacía un campo magnético sobre una carga en movimiento. Deduciendo cuatro características esenciales en la interacción que ejerce el campo sobre la carga en movimiento.

1. Proporcionalidad con respecto al valor de la carga.
2. Proporcional con respecto al módulo del vector intensidad magnética.
3. Depende del módulo de la velocidad de la partícula cargada.
4. La fuerza es siempre perpendicular al plano que se puede formar con el vector intensidad de campo magnético,  $\vec{B}$ , y el vector velocidad,  $\vec{v}$ .

Desde estas características, ya eres capaz de

### Fuerza magnética sobre corriente eléctrica



Vídeo de csoriahoyo alojado en [Youtube](#)

Si te preguntara por uno de los más excéntricos científicos que han existido, seguro que dirías Albert Einstein, pero ese fue bastante popular y reconocido por sus logros. Pero me gustaría que, antes de sacarte de dudas, vieras este pequeño fragmento de la película *El truco final* de Christopher Nolan, con Hugh Jackman, Christian Bale, Michael Caine y Scarlett Johansson entre los actores del filme.

### Nicola Tesla (escena el prestigio)



Vídeo de Alber Tiempoestime alojado en [Youtube](#)

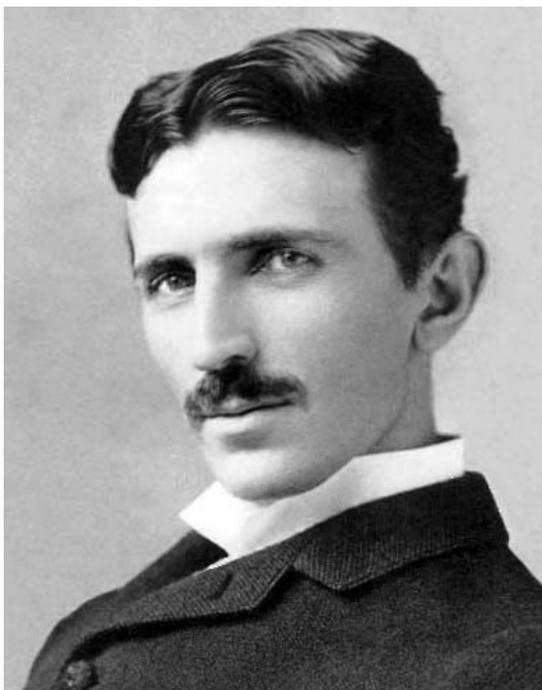


Imagen de Napoleon Sarony en [WIKIMEDIA COMMONS](#). Dominio público

Aquí va el nombre, aunque quizás lo sepas con lo anterior.

Ese científico es el austrohúngaro [Nikola Tesla](#). Debido a su personalidad un tanto rara y a su gran imaginación que le hacía hacer declaraciones aparentemente increíbles sobre el futuro cercano tecnológico que a veces rayaban en lo inverosímil, le relegaron, finalmente, al ostracismo y considerado un "**mad doctor**" o sea científico loco.

Fue un inventor, ingeniero mecánico, ingeniero electricista y físico, además de fomentar el uso comercial de la electricidad.

Sus logros son muy numerosos y revolucionarios dentro del campo del electromagnetismo.

Las patentes de Tesla y su trabajo teórico supusieron los pilares de la corriente alterna actual, incluyendo el motor eléctrico. Eso

supuso un cambio social muy importante al que los historiadores denominaron Segunda Revolución Industrial.

Curiosamente no tenía gran interés por sus posesiones monetarias, al contrario que

Thomas Alba Edison. Se rumorea que murió sin blanca a la edad de 86 años.

La unidad de medida del campo magnético,  $\vec{B}$ , dentro del Sistema Internacional de Unidades es el Tesla; llamado así en de este gran genio en la Conférence Générale des Poids et Mesures de París, que se realizó en el año 1960.

## Comprueba lo aprendido

Lee y completa:

La fuerza a la que se ve sometida una partícula  cuando se mueve con una velocidad en el seno de un campo  es  proporcional al  de la velocidad y del campo. La  de la interacción es  al plano que se puede formar entre el vector velocidad y el vector campo magnético.

**Comprobar respuesta**

## 3.2 Intensidad del campo magnético

---

Ya sabes que las corrientes eléctricas son capaces de producir campos magnéticos. Para muestra un botón, el experimento de Öersted. Dicha práctica de laboratorio mostraba cómo el paso de cargas a través de un hilo conductor provocaba una desviación u orientación de una aguja imantada, alias brújula.

Piensa por un momento y responde, ¿cuál sería la corriente eléctrica más pequeña que puede existir?

Seguro que conoces la respuesta. Desde luego estás en lo cierto, la corriente eléctrica más insignificante que se puede imaginar es la correspondiente a una partícula cargada, como un ion, átomo cargado, o electrón.

Ahora toca estudiar el campo creado por una carga móvil. El campo magnético creado por una carga móvil se establece de manera experimental en un punto cualquiera de espacio que es capaz de distorsionar.

La expresión matemática que se pudo deducir viene dada por la ecuación matemática siguiente:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot (\vec{v} \times \vec{u}_r)}{r^2}$$

Te recuerdo que la constante  $\mu_0$  se llama permeabilidad magnética del vacío. Desde la fórmula puedes deducir perfectamente que el campo magnético que aparece es perpendicular a la velocidad y al vector,  $\vec{u}_r$ , que se crea entre la posición de la partícula y el punto del espacio.

Tras estas líneas te dejo una animación que te va a mostrar el campo que crea una partícula en movimiento, con ella te podrás divertir y quizás, lo más importante, aprenderás.

### 3.3 Ley de Ampère

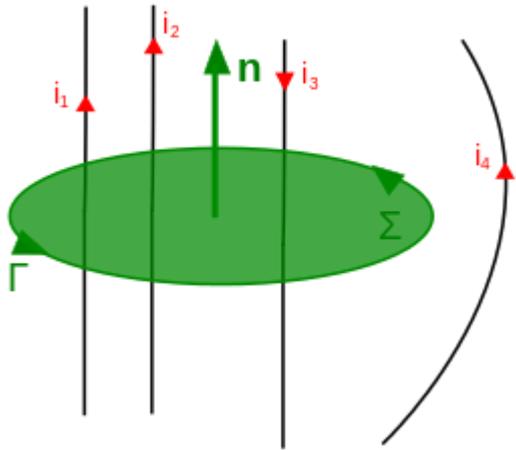


Imagen de Xzapro4 en [WIKIMEDIA COMMONS](#). Dominio público

Para llegar a la ley de Ampère, debes tener la noción previa de un concepto matemático que recibe el nombre de circulación.

Para ponerte en antecedentes, debes pensar imaginar lo siguiente: piensa en una trayectoria cerrada "Γ", la cual será el contorno de una superficie abierta "Σ", como la de un cilindro, en ese caso, la trayectoria cerrada será una circunferencia.

Si partimos esa trayectoria en pequeños trocitos, muy, muy pequeños, a esos elementos se le llama elemento diferencial. Y se representa por medio de un vector tangente a esa trayectoria cerrada " $d\vec{r}$ ".

La superficie contenida por la trayectoria cerrada es atravesada por distintas corrientes eléctricas como muestra la figura.

Esos hilos conductores crean un campo magnético en el espacio que los circunda. Experimentalmente se observa que ese campo tiene la forma de un cilindro de altura infinita y que disminuye su valor si nos alejamos del hilo conductor.

El vector de inducción magnética,  $\vec{B}$ , es perpendicular a la corriente eléctrica y siempre es tangencial a la curva cerrada. Eso puede expresarse, desde el punto de vista matemático, como:

$$\oint \vec{B} d\vec{r}$$

Ampère dedujo desde la experiencia que la circulación del campo magnético en el contorno que rodea a un hilo conductor lo suficientemente largo es directamente proporcional a la corriente eléctrica que circula por el hilo.

Ello, le llevo a establecer la ley que lleva su nombre. Su expresión es:

$$\oint \vec{B} d\vec{r} = \mu_0 I$$

La expresión te ofrece el valor del campo magnético, sin embargo, desde la misma no se tiene conocimiento de la dirección ni sentido, ¡uy! de la dirección,  $\mathbf{SI}$ , ya que el campo es perpendicular a la corriente y tangente a la trayectoria cerrada.

Pero, ¿cómo obtener el sentido? Una de las maneras es siguiendo la [regla de la mano derecha](#). El pulgar es el referente y marca la dirección de la corriente eléctrica. Los dedos restantes al cerrar la mano indican la dirección del campo magnético.

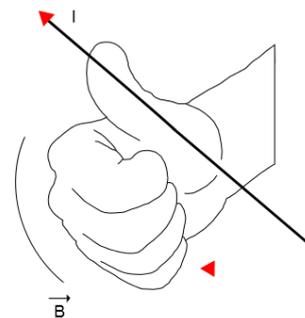


Imagen de FJGAR en [WIKIMEDIA COMMONS](#). CC

### Comprueba lo aprendido

Se tiene un hilo conductor rectilíneo e indefinido por el que circula una corriente eléctrica.

El campo magnético creado por la citada corriente es proporcional a dicha corriente y paralelo a la dirección y sentido de la misma.

Verdadero  Falso

Verdadero Falso

**Falso**

El campo magnético es perpendicular a la dirección de la corriente y tangente a la trayectoria cerrada por la cual se puede determinar la circulación del vector campo magnético.

### 3.3.1 Campo magnético creado por un hilo conductor

Ya sabes que en 1820 Oersted observó la desviación de la aguja de una brújula colocada cerca de un hilo conductor por el que pasaba una corriente. Desde esta experiencia se pudo concluir que una corriente eléctrica produce un campo magnético cuya dirección es perpendicular a dicha corriente.

Bien, te voy a presentar cómo se puede estimar dicho campo. Considera un hilo conductor rectilíneo e indefinido, échale un vistazo a la imagen, desde él se procederá al cálculo del campo magnético en el espacio que lo rodea.

Para hacer la determinación, aplicaré la ley de Ampère. Se debe escoger una superficie que incluya la corriente, por la forma del hilo la más adecuada es el cilindro.

Se coloca de tal manera que la trayectoria cerrada es una circunferencia de radio  $r$ .

La expresión de la ley es:

$$\oint \vec{B} d\vec{\Gamma} = \mu_0 I$$

Para facilitar la determinación del campo se va a suponer que el mismo es constante a la distancia estimada  $y$ , por ello, puede salir de la integral.

$$B \oint d\Gamma = \mu_0 I$$

Como la trayectoria cerrada es un circunferencia, su longitud es  $2\pi r$ . Sustituyendo y despejando queda que el campo es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Luego, el sentido de vector intensidad magnética,  $\vec{B}$ , se puede obtener por medio de la regla de mano derecha o regla del sacacorchos, que es lo mismo.

Para que te aclares algo más te dejo estas imágenes.

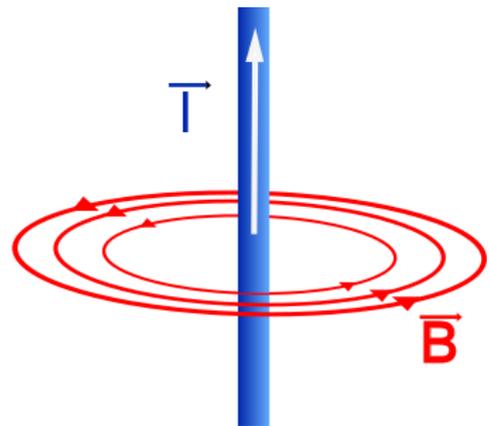


Imagen de FJGAR en [WIKIMEDIA COMMONS](#). CC

Ley de ampere



## Comprueba lo aprendido

Completa la frase referida al campo magnético creado por un hilo conductor.

El campo magnético creado en un punto por un hilo conductor depende de la  que circula por él, de las propiedades  del medio y es  proporcional a la  entre el punto y el hilo.

**Comprobar respuesta**

### 3.4 Campo creado por un conductor no rectilíneo

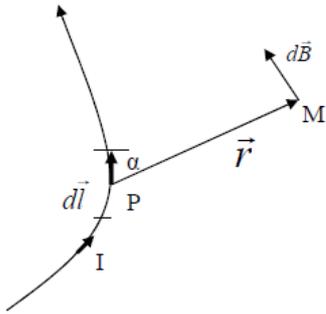


Imagen de Nicolae Coman en WIKIMEDIA COMMONS. CC

En la exposición del tema te habrás dado cuenta que se ha hecho mención a hilos conductores rectos.

Pero, ¿qué pasa si tiene otra forma el hilo conductor?

Biot y Savart se percataron que el campo era inversamente proporcional a la distancia al hilo conductor independientemente de la forma, recuerda si es una corriente rectilínea la determinación del campo magnético se efectúa por medio de la ley de Ampère.

En la situación en la cual el camino que sigue la corriente no es recto, la propuesta de Biot y Savart fue dividir el conductor en pequeños trozos de tal manera que estos eran considerados rectos y que cada elemento proporcionaba una parte del total del campo creado por la corriente.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot (d\vec{l} \times \vec{u}_r)}{r^2}$$

Sólo quedaría sumar cada trozo.

Y, ¿eso cómo se hace? Bueno no es nada complicado. Basta con determinar la integral extendida a todo hilo conductor.

Si miras en tu memoria la integral viene a darte la suma de determinadas cantidades, aquí corresponde a la suma de los campos creados por los diferenciales del hilo.

Así, la expresión del campo queda de la siguiente forma:

$$\vec{B} = \int_l d\vec{B} = \int_l \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot (d\vec{l} \times \vec{u}_r)}{r^2}$$

donde "l" representa la longitud del conductor.

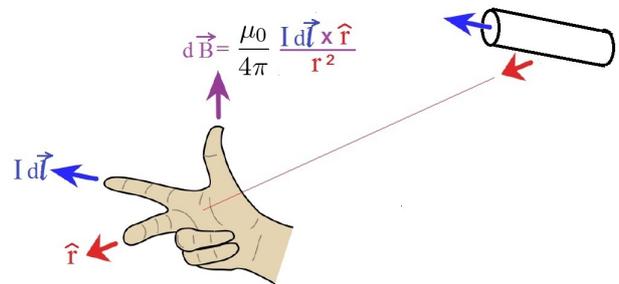


Imagen de Guy vandegrift en WIKIMEDIA COMMONS . CC

### Comprueba lo aprendido

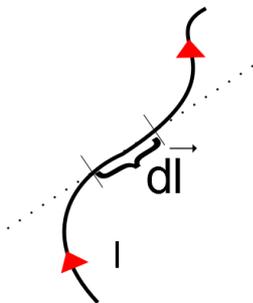


Imagen en WIKIMEDIA COMMONS de FJGAR. CC

Sea el hilo conductor de la figura, el trozo que cae sobre la línea recta punteada crea un campo magnético.

El campo magnético creado por el fragmento "dl" en cualquier punto de la recta trazada por puntos es nulo.

Verdadero  Falso

#### Verdadero

Los vectores  $d\vec{l}$  y  $d\vec{u}_r$  son paralelos, por consiguiente, el campo creado será nulo en virtud a lo que expresa la ley de Biot-Savart

### 3.5 Campo magnético creado por una espira conductora

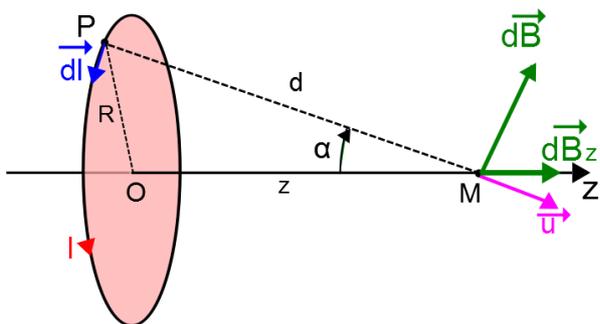


Imagen de Xzapro4 en WIKIMEDIA COMMONS.  
Dominio público

Ya has analizado cómo se determina el campo magnético creado por un conductor que no es recto y sabes que es necesario aplicar la ley de Biot-Savart para su determinación teórica.

Pues bien, aquí se determinará el campo creado por un conductor que tiene forma circular y es plana al que se conoce por espira. No hace falta que te llame la atención sobre la simetría de la espira. Debido a la misma, las proyecciones del vector campo magnético sobre el plano de la espira se anularán, mira la imagen. Luego quiere decir que el campo magnético creado en el eje de la espira sólo tendrá la dirección de éste.

No quiere meterte en berenjenales, ya tendrás bastante cuando empieces una carrera. Por ello, te suelto de sopetón la solución tras aplicar la integral a ley de Biot-Savart.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot r^2}{2(\sqrt{(z^2+r^2)})^3}$$

Cuando se pretende calcular el campo magnético creado por la espira en su centro, es decir, cuando, la coordenada "z" es cero. La expresión se reduce a:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2r}$$

En la siguiente animación puedes hacer variar el radio de la espira y la intensidad que la atraviesa así como su sentido y observar cómo varía de forma cuantitativa el campo magnético creado en el centro de la espira.

Campo magnético creado por una espira que conduce una corriente de intensidad I en su centro

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2r}$$

Varía el radio de la espira

Animación de Antonio González en GeogebraTube



## Ejercicio resuelto

Se dispone de una espira de 4 cm de radio por la que circula una corriente de 10 A.  $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$

¿Cuánto vale el campo creado en su centro?

### Mostrar retroalimentación

Aplicando la fórmula correspondiente

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2 \cdot 0.04} = 1.57 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

Un caso especial es el solenoide, que viene a ser un objeto que resulta por combinación de espiras circulares como la anterior.

Una definición más técnica de un solenoide sería la que sigue: cualquier dispositivo que puede crear en su interior un campo magnético uniforme e intenso y, por el contrario, muy débil en el exterior.

Un ejemplo del mismo sería un hilo conductor enrollado formando espiras circulares, es decir, el hilo tiene una forma helicoidal. Si se le introduce en medio un núcleo o barra de hierro se le llama al sistema bobina.

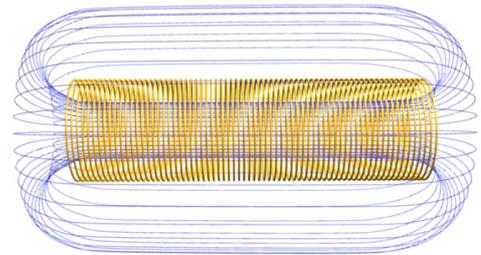


Imagen de Perox en [WIKIMEDIA COMMONS](#). Dominio público

El campo magnético creado en su interior depende del número de vueltas y la longitud del hilo conductor, piensas que se puede enrollar el hilo de muchas formas, es decir, las vueltas pueden tener un diámetro diferente.

La expresión es muy semejante a la correspondiente a la espira. Multiplicando la misma por el número de espiras y sustituyendo el denominador por la longitud del hilo.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L}$$

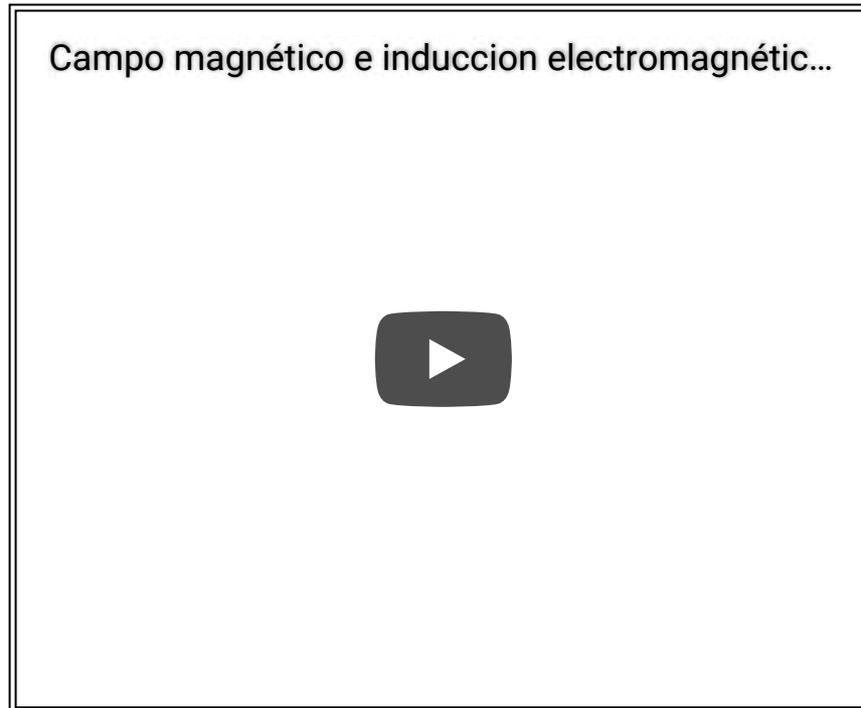
Como se puede llegar a esa expresión, para que no te agobies, es fácil de entender, ya conoces el resultado del campo magnético creado por un conductor rectilíneo, luego esto se puede generalizar para otras disposiciones.

¿Cómo actuar? Con simple lógica, la idea se fundamenta en dividir en pequeños trozos que puedan considerarse rectilíneos, y posteriormente sumar, perdón, integrar, las participaciones en el campo global como se ha realizado en la espira.

Los más complicado es tener manejo del cálculo integral, cuyas bases esenciales aprenderás en matemáticas que espero que no te resulte tedioso.

## 4. Líneas de campo magnético

Para empezar te recuerdo que las líneas de campo sirven para visualizar la distorsión que se crea en una zona del espacio debido a la presencia de una propiedad que afecta a los sistemas que la poseen. Mira las siguientes imágenes.



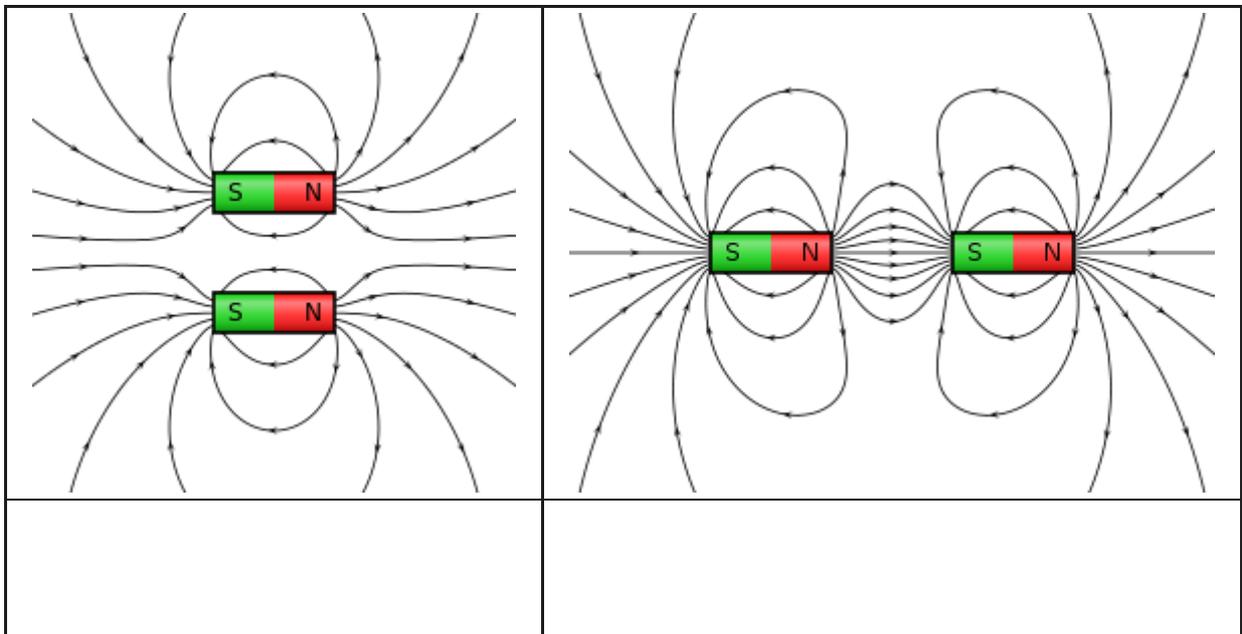
Vídeo de yagoclua alojado en [Youtube](#)

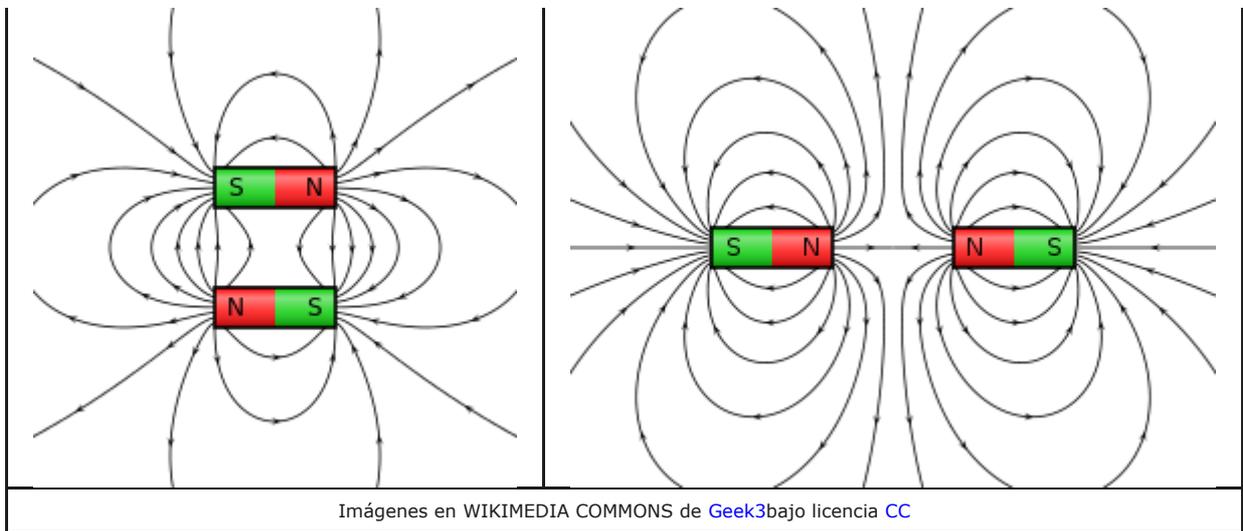
¡Qué cosa más curiosa!, pero pongamos un poco de teoría al asunto.

Debo empezar por decirte que las líneas no tienen una existencia física, son dibujos o, si lo prefieres, representaciones que el científico hace para explicar la alineación de las limaduras de hierro alrededor del imán o de un hilo conductor. Seguro que está en tu memoria que fue Faraday el que introdujo el concepto de campo para dar explicaciones a estos hechos.

Como ya se ha comentado las líneas de campo permiten visualizar un campo, en este caso el magnético. Las características de éstas son:

- Continuidad
- Proporcionan la dirección del campo
- Son cerradas, de forma arbitraria, su sentido es de polo norte al polo sur.
- Su densidad, número de líneas por unidad de área, es proporcional al valor que toma el módulo del vector campo.





Imágenes en WIKIMEDIA COMMONS de [Geek3](#) bajo licencia CC

Una cuestión importante es que a diferencia de las líneas de campo eléctrico, no apuntan en dirección de la fuerza que se ejerce sobre la carga, debes recordar que la fuerza es perpendicular al campo magnético y velocidad de la partícula cargada, además del signo de la carga, así pues, con una simple mirada sobre las líneas no basta para indicar la dirección de la fuerza magnética. Pero si, te informan de la dirección en la que apuntaría la aguja de una brújula colocada en una posición específica.

## Reflexiona

¿Dónde estaría el polo norte y el polo sur en un hilo conductor por el cual pasa una corriente eléctrica?

### Mostrar retroalimentación

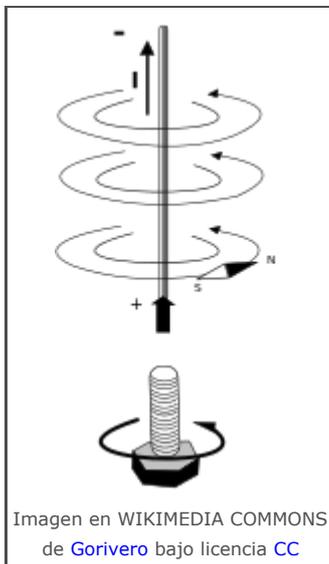


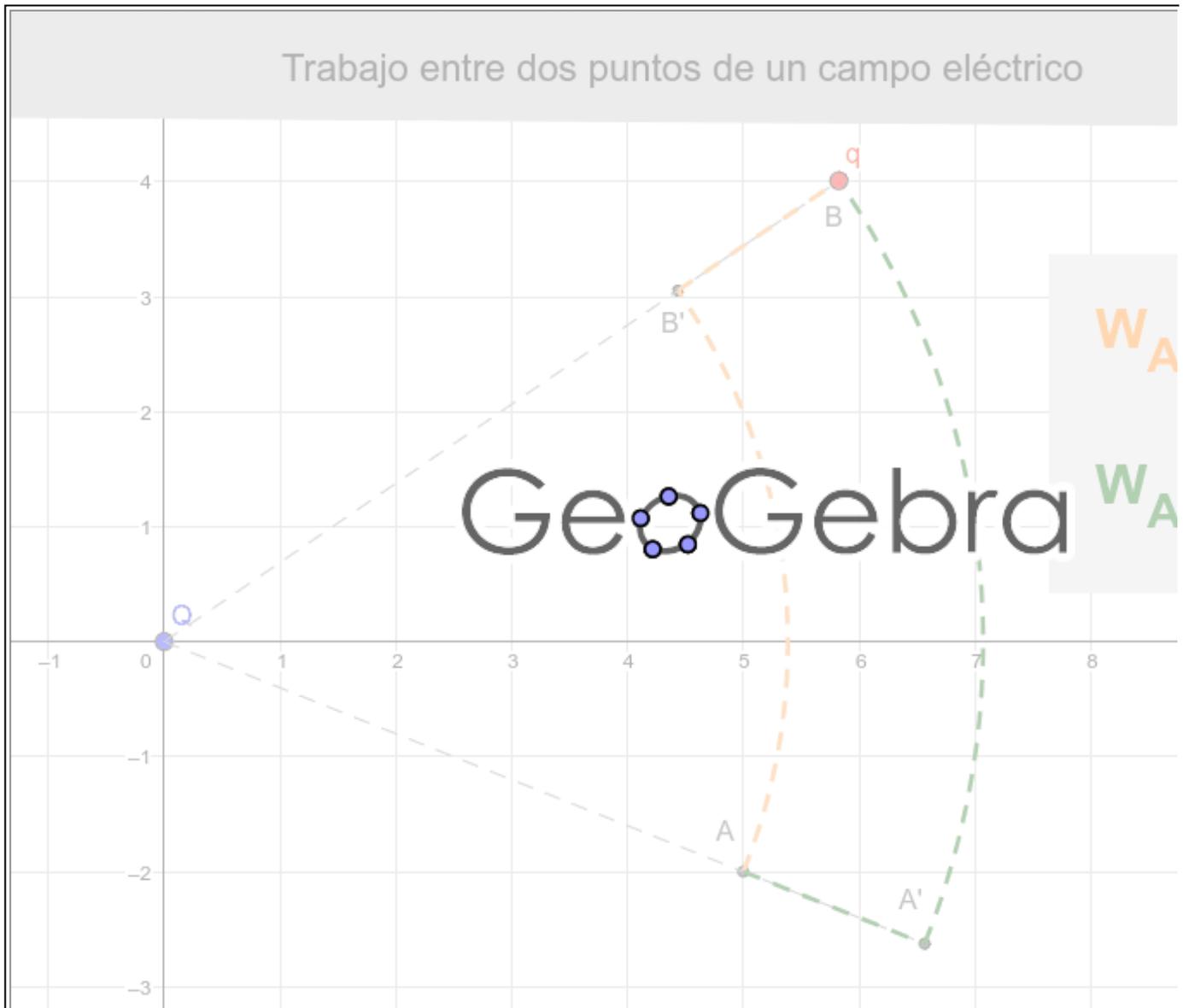
Imagen en WIKIMEDIA COMMONS de [Gorivero](#) bajo licencia CC

Si te fijas en el dibujo, verás que son líneas concéntricas donde el conductor pasa por su centro, al igual que las de un imán son cerradas, pero aquí el sentido lo marca la disposición que indique la aguja de la brújula. Luego, no hay existencia de polos.

## 5. Carácter no conservativo del campo magnético

En anteriores temas has estudiado que los campos gravitatorio y eléctrico son campos conservativos. ¿Qué ocurrirá con el campo magnético? Veámoslo.

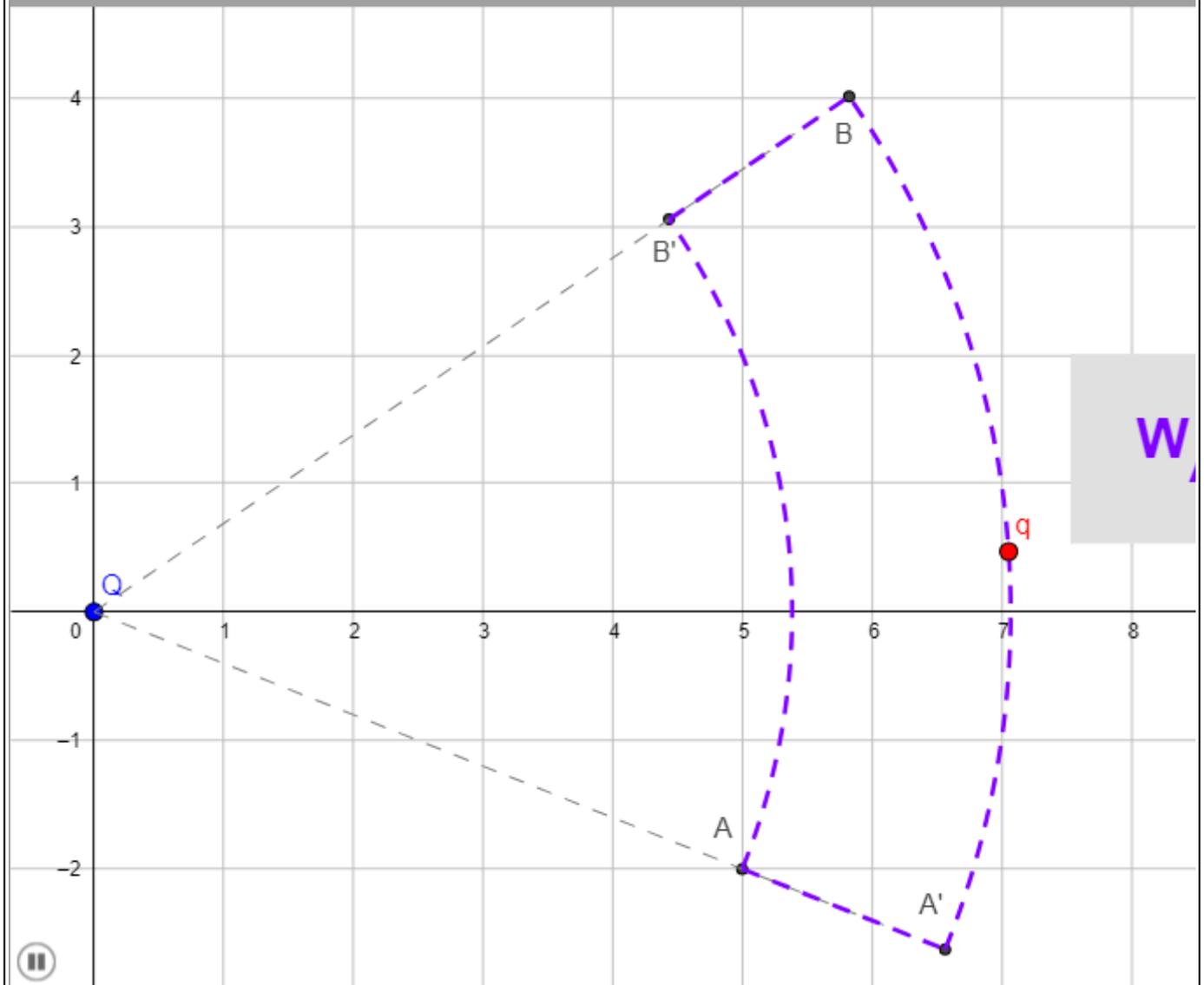
Sabemos que un campo es conservativo cuando el trabajo entre dos puntos cualesquiera no depende del camino recorrido. En la siguiente animación hemos representado cuánto vale el trabajo en el seno del campo eléctrico creado por una carga  $Q$ . Se puede observar que el trabajo para desplazar la carga  $q$  desde el punto A hasta el punto B es el mismo pasando por A' o por B'.



Animación de Antonio González en [GeogebraTube](#)

Esto es equivalente a decir que el trabajo en cualquier trayectoria cerrada es nulo.

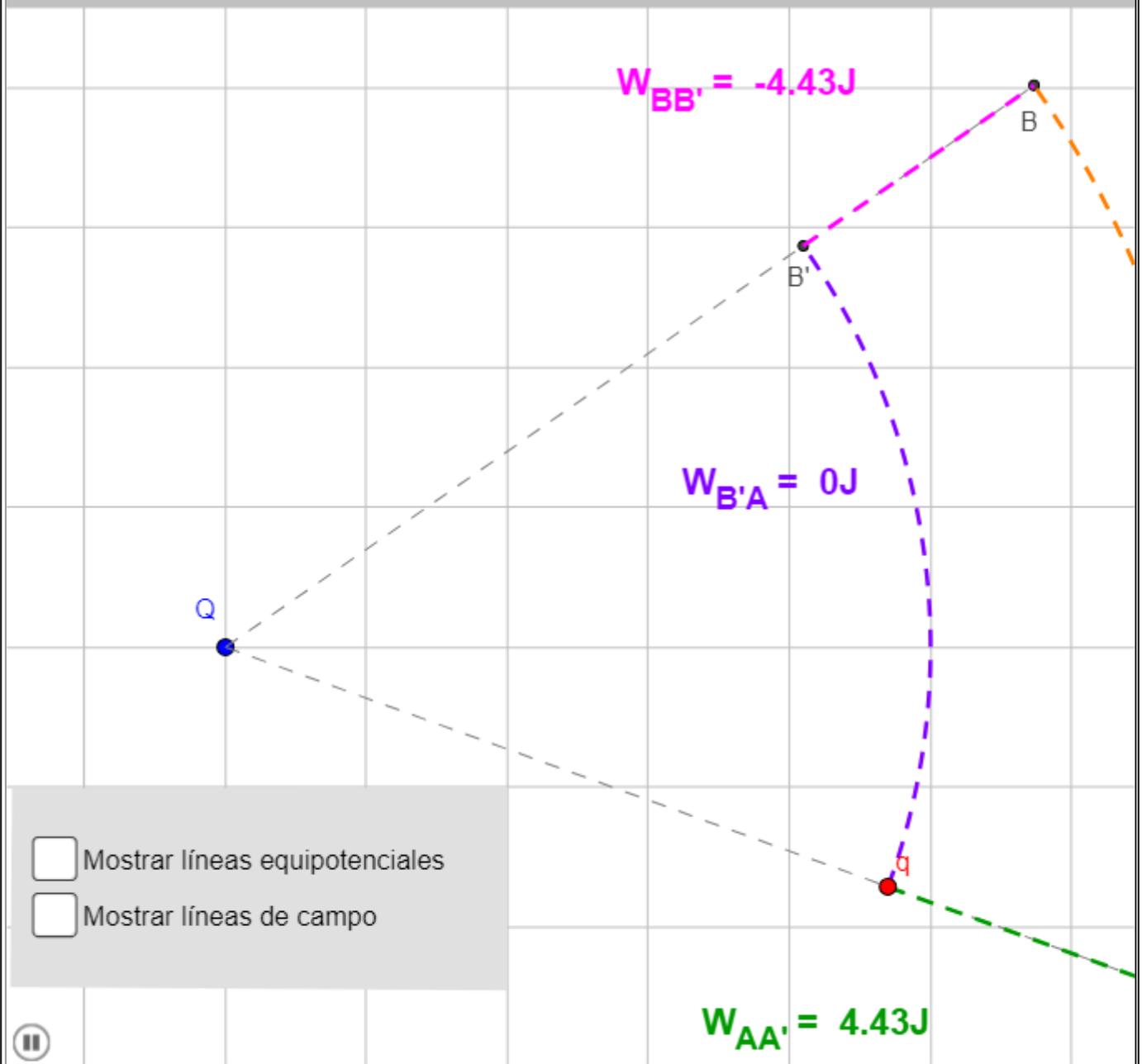
## Trabajo en una trayectoria cerrada dentro de un campo eléc



Animación de Antonio González en [GeogebraTube](#)

A lo largo del camino cerrado, el trabajo se anula en los tramos  $A'B$  y  $B'A$  porque la carga  $q$  se mueve en dirección perpendicular al campo y a la fuerza eléctrica. En los tramos  $AA'$  y  $B'B$  el trabajo realizado es el mismo pero cambiado de signo. En el primer caso la carga  $q$  se mueve en contra del campo eléctrico y en el segundo a favor. Por lo tanto el trabajo total es nulo.

$$W_{AA} = W_{AA'} + W_{A'B} + W_{BB'} + W_{B'A} = 0J$$



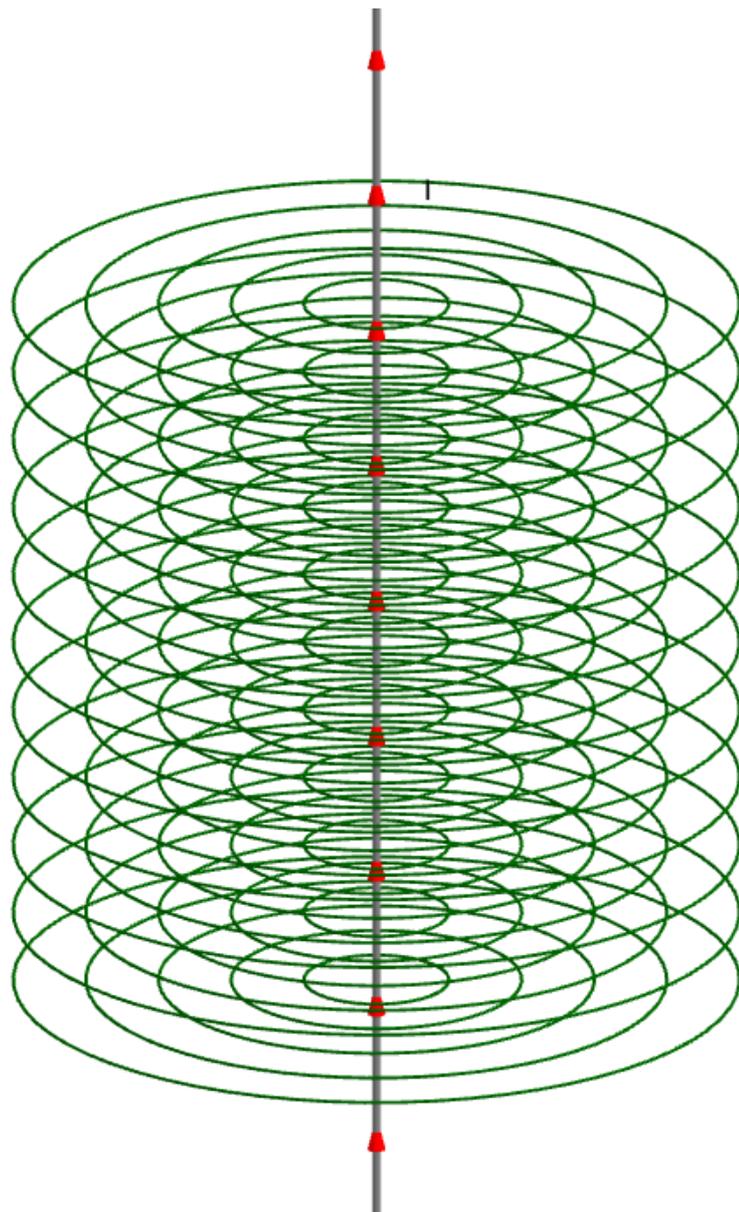
Animación de Antonio González en [GeogebraTube](#)

Matemáticamente, la condición para determinar si un campo es conservativo o no es que su circulación a lo largo de un camino cerrado sea nulo.

# GeoGebra

Animación de Antonio González en [GeogebraTube](#)

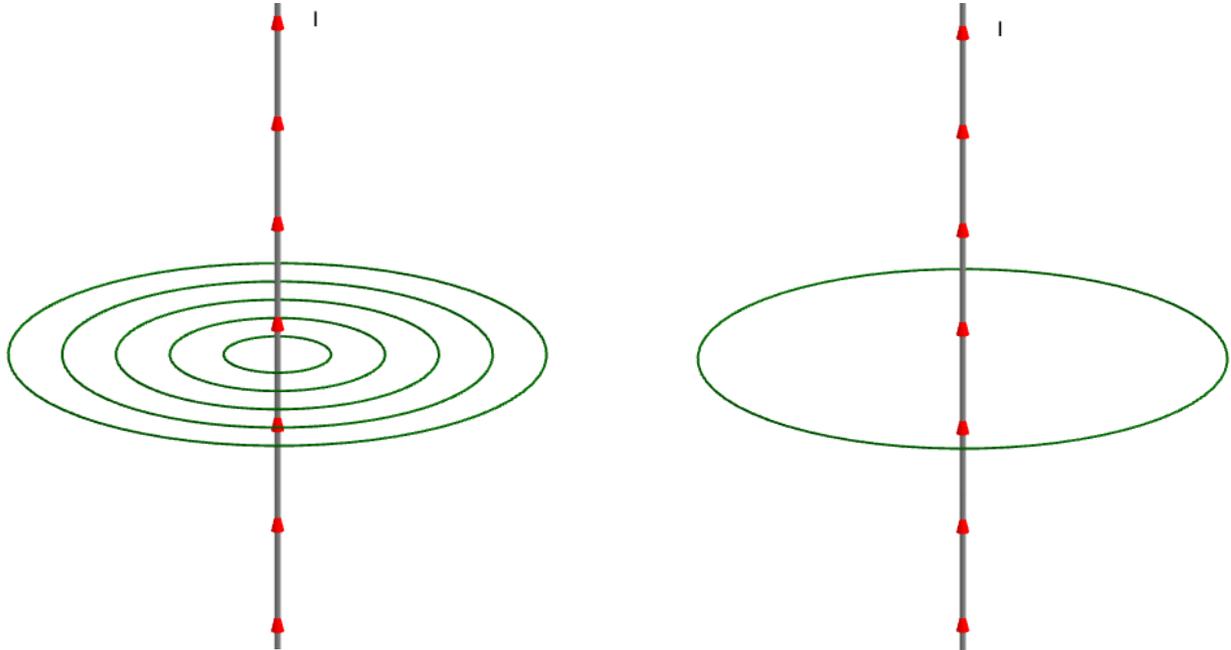
Vamos a calcular la circulación a lo largo de un camino cerrado en un campo magnético. Lo haremos en un caso sencillo que ya hemos estudiado: el campo magnético creado por un conductor rectilíneo indefinido que conduce una intensidad de corriente  $I$ .



Sabemos que este hilo genera un campo de módulo:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$$

Las líneas de campo son circunferencias centradas en el hilo conductor en planos perpendiculares a este. Nos centramos en el plano  $z=0$  y más concretamente en una de las líneas de campo.



Imágenes de elaboración propia

El campo magnético, según la regla de la mano derecha, tendrá dirección tangente a la línea de campo y sentido antihorario. En cualquier punto de la circunferencia, el módulo del campo magnético es el mismo, su dirección tangente a la curva y siempre con sentido antihorario.

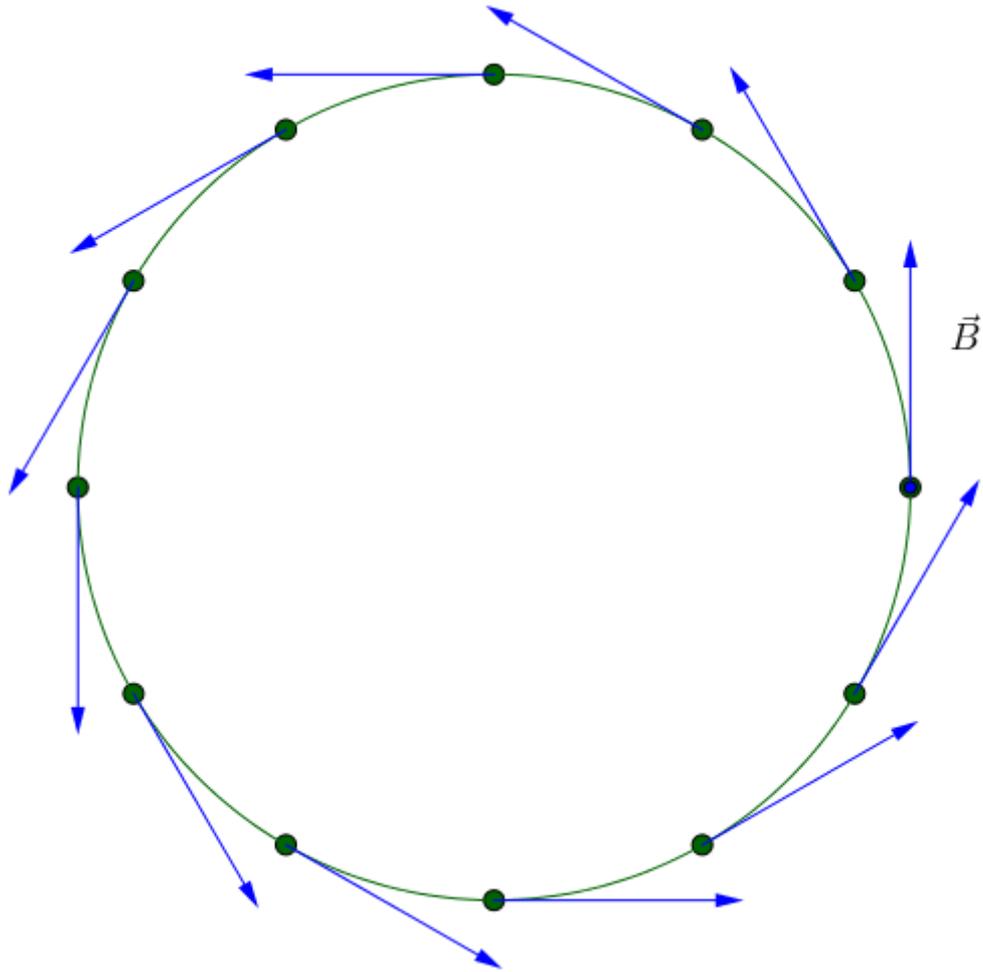


Imagen de elaboración propia

Calculemos la circulación del campo magnético a lo largo de la circunferencia.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

Un trozo infinitesimal de recorrido se obtendría dividiendo la circunferencia en trozos cada vez más pequeños. Si lo hiciéramos ese trozo de camino sería tangente a la circunferencia.

n = 12



Animación de Antonio González en [GeogebraTube](#)

Por lo tanto, el producto escalar del campo y el infinitésimo de recorrido sería igual al producto de sus módulos.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B \cdot dl$$

Como sabemos que el campo magnético toma el mismo valor en todos los puntos de la circunferencia, puede salir del signo de la integral. La suma de todos los infinitésimos de recorrida es la longitud de la circunferencia.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B \cdot dl = B \cdot \oint dl = B \cdot L$$

La circulación del campo B a lo largo de un camino cerrado es distinto de cero y por lo tanto el campo magnético creado por un hilo conductor no es conservativo.

## Comprueba lo aprendido

Indica qué afirmaciones son verdaderas y cuáles son falsas.

1. Existe una energía potencial asociada al campo magnético.

Verdadero  Falso

**Falso**

2. El trabajo realizado por la fuerza magnética no depende del camino.

Verdadero  Falso

**Falso**

## 6. Comparativa de los campos gravitatorio, eléctrico y magnético

---

Entre las dos fuerzas fundamentales que hasta el momento has estudiado existen diferencias y similitudes.

La fuerza gravitatoria procede de un campo gravitatorio y la electromagnética procede de un campo eléctrico y/o de un campo magnético. Hasta aquí todo bien. Pero lo que te interesa es la fisionomía de los campos.

El campo gravitatorio y el eléctrico están vinculados a un escalar, que se le conoce por potencial. El gradiente de dicha función escalar, cambiado de signo, viene a darte el campo. Eso mismo, se puede expresar de otra manera. La circulación del vector campo a lo largo de una trayectoria cerrada es cero o lo que es lo mismo la circulación del vector es independiente del camino y sólo depende del comienzo y del punto final. Cuando se cumplen estas condiciones se dice que los campos son conservativos.

Para el campo magnético no ocurre así. Su circulación depende de la corriente eléctrica, ley de Ampère y, por tanto, no se le puede asociar un potencial de forma directa.

Por otro lado, se observa que las líneas de campo tanto del gravitatorio y del eléctrico son abiertas, dicho de otra manera, empiezan en algún punto, llamados fuentes, y terminan en algún otro, conocidos por sumideros. Sin embargo, las líneas que representan el campo magnético son cerradas, lógicamente, no hay presencia de fuentes ni sumideros. Además, en el campo magnético, la dirección del campo es tangente a las líneas, mientras que los otros su dirección recaen sobre las líneas.

En los campos conservativos, eléctrico y gravitatorio, es posible construir desde la función escalar superficies equipotenciales, es decir, asociar puntos con igual potencial, donde las líneas de campo serán perpendiculares en todo momento a tales regiones. Te recuerdo que el campo magnético no existe ninguna función escalar cuya variación permita la obtención del valor de la intensidad del campo.

Con respecto a las interacciones, tanto para el gravitatorio como el eléctrico, se observa que van dirigidas al centro del sistema que origina la perturbación, es decir, son centrales, esto no se aprecia en las interacciones magnéticas. Estas últimas son perpendiculares al campo lo que les hace divergir de las otras.

Aunque entre el campo gravitatorio y el eléctrico hay muchas similitudes existen sus diferencias significativas, como la ausencia de fuentes en el campo gravitatorio o el carácter atractivo exclusivo que presenta este último. En el campo eléctrico, si aparecen fuentes y sumideros, también las fuerzas pueden ser repulsivas y atractivas, igual que las magnéticas, aunque en el campo magnético no hay presencia de puntos donde se inicie el campo y donde se termine.

Una cuestión importante es que un sistema que posea la magnitud masa siempre crea una perturbación gravitatoria a su alrededor independientemente de su estado de reposo o movimiento. Esto no ocurre, para un sistema que tiene la propiedad eléctrica, si está estático sólo se percibe un campo eléctrico, si está en movimiento aparece también un campo magnético. Tanto campo eléctrico y magnético dependen de las características del medio.

Existen dipolos eléctricos y dipolos magnéticos. Tales dipolos, independientemente de su origen, tienen libertad de movimiento y se orientan en el sentido del campo, según el efecto de éste. Igualmente, en el caso de que el campo no sea homogéneo, tienen tendencias a acumularse en las zonas donde el campo es más intenso.

Otra cosa curiosa, que estudiarás un poco más adelante, un campo eléctrico variable puede crear un campo magnético y, por supuesto, al revés también ocurre.

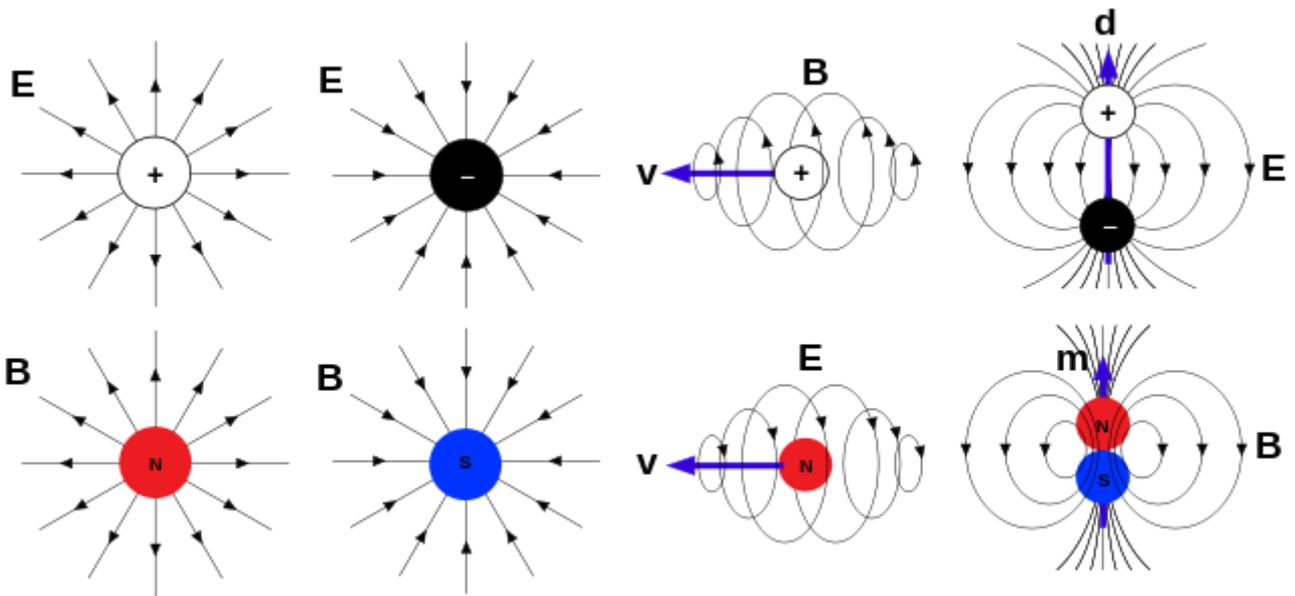


Imagen de Maschen en [Wikimedia Commons](#). CC

## Comprueba lo aprendido

¿El valor del módulo de un campo gravitatorio, eléctrico o magnético no es influenciado por su entorno?

Cualquier campo es independiente del entorno en que se encuentra.

- Verdadero  Falso

### Falso

El único independiente es el gravitatorio. Los otros dos tienen unas constantes de proporcionalidad que varían según el medio donde se encuentre, lo habitual es trabajar en el vacío.

## 7. Especial PEvAU

### Ejercicio resuelto

a) Explique las experiencias de Öersted y comente cómo las cargas en movimiento originan campos magnéticos.

#### Mostrar retroalimentación

Cuenta la leyenda que en 1820 Öersted cuando impartía una de sus clases de Física en la Universidad de Copenhague, acerca del efecto Joule, generación de calor por corrientes eléctricas, acercó de manera casual una brújula a un hilo conductor.

Al pasar la corriente por él, la brújula cambió de dirección y se orientó de forma perpendicular al hilo.

Su curiosidad le llevó a intentar falsear el hecho fortuito que le hizo repetir muchas veces la prueba, obteniendo el mismo resultado otras tantas veces.

Öersted publicó esas observaciones en un artículo, cuya conclusión era:

*"Una corriente eléctrica, cargas en movimiento, no lo olvides, produce un campo magnético".*

Debes recordar que durante el estudio del campo eléctrico y del gravitatorio, se centro todo sobre los efectos que se producen sobre ciertas partículas testigo, carga para un caso y masa para otro, situadas en el seno de la perturbación.

En el caso del campo magnético, sólo hay manifestaciones cuando las cargas están en movimiento o existe la presencia de un imán. Es por ello, que la existencia se exterioriza a través de la reorientación de partículas con propiedades magnéticas. Este efecto se manifiesta en forma de fuerza que actúa sobre la entidad testigo. El campo magnético lo definiremos según su acción sobre partículas cargadas en movimiento, por tanto el agente testigo de un campo magnético será una carga eléctrica en movimiento, ya que los campos magnéticos no ejercen influencia sobre cargas en reposo.

Hay que hacer constar que el campo magnético creado por una carga móvil se establece de manera experimental en un punto cualquiera de espacio que es capaz de distorsionar

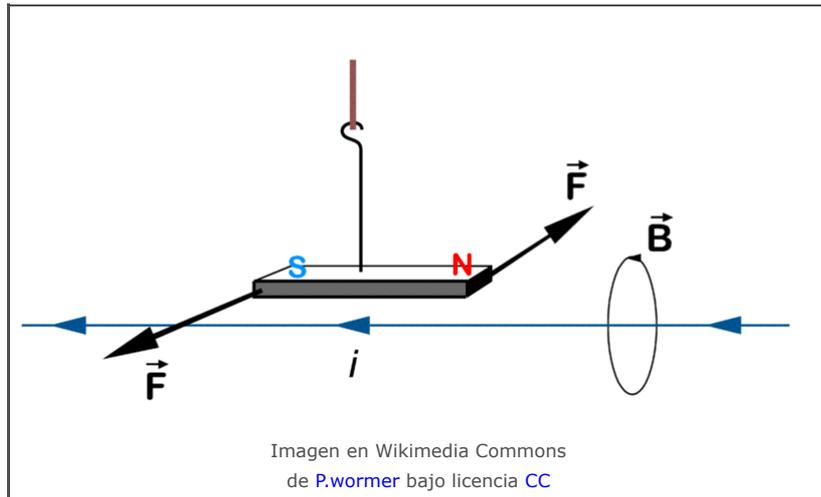


Imagen en Wikimedia Commons de P.wormer bajo licencia CC

b) ¿En qué casos un campo magnético no ejerce ninguna fuerza sobre una partícula cargada? Razone la respuesta.

#### Mostrar retroalimentación

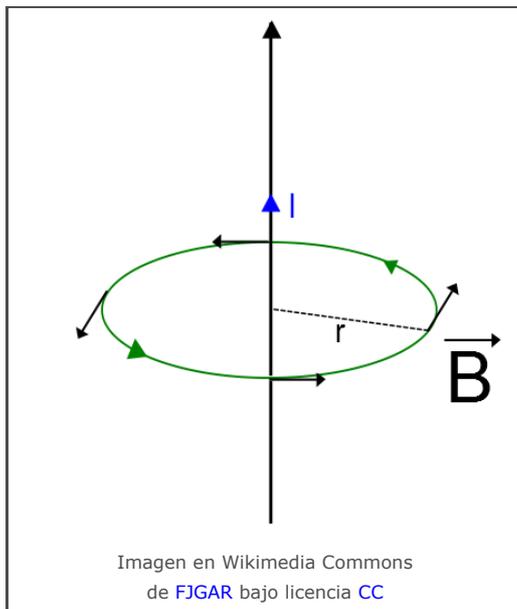
La situación plantea sólo es posible en dos circunstancias. La primera se da cuando la partícula cargada se halle en reposo. La segunda es cuando la partícula tiene una velocidad paralela al propio campo, esta última observación se debe a Lorentz quien estableció las condiciones para que apareciera una fuerza sobre la carga en

establecer las condiciones para que aparezca una fuerza sobre la carga en movimiento.

## Ejercicio resuelto

a) Explique las características del campo magnético creado por una corriente rectilínea indefinida.

### Mostrar retroalimentación



Como consecuencia del movimiento de las cargas que pasa por el interior de un conductor estos crean a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas.

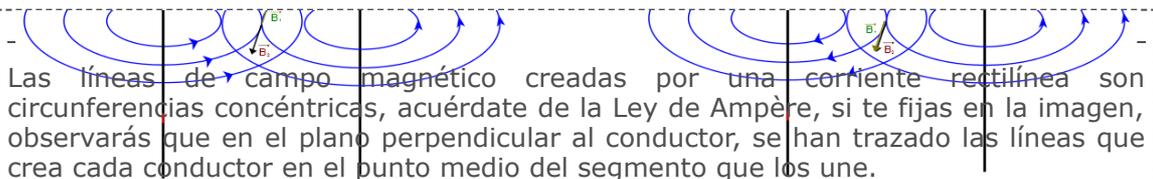
Dicho campo  $\vec{B}$  tiene como características:

- Su módulo viene expresado según la Ley de Ampère:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
- Su dirección es perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas y perpendicular al vector  $\vec{r}$  que corresponde en modulo a la distancia desde la corriente al punto considerado.
- Su sentido se puede determinar por la regla de la mano derecha o del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector  $\vec{r}$ .

Desde el valor del modulo del campo magnético producido por la corriente rectilínea en un punto exterior a dicha corriente, se puede observar que el citado valor es directamente proporcional a la intensidad de la corriente e inversamente proporcional a la distancia a dicho punto. Su expresión se puede calcular también desde la ley de Biot-Savart

b) Por dos conductores rectilíneos e indefinidos, paralelos entre sí, circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentidos opuestos. Explique, con ayuda de un esquema, la dirección y el sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio de un segmento que una a los dos conductores. ¿Cómo cambiaría la situación si se invirtiese el sentido de una de las corrientes?

### Mostrar retroalimentación



Las líneas de campo magnético creadas por una corriente rectilínea son circunferencias concéntricas, acuérdate de la Ley de Ampère, si te fijas en la imagen, observarás que en el plano perpendicular al conductor, se han trazado las líneas que crea cada conductor en el punto medio del segmento que los une.

La dirección del campo magnético es tangente en cada punto de dichas líneas y su sentido es el que determinan la regla del sacacorchos tras aplicar la ley de Ampère. Por ello, se puede establecer que los vectores campo magnético que crea cada conductor en el punto medio del segmento que los une son de la misma dirección y sentido. Si ambos conductores están contenidos en el plano del papel, los vectores son perpendiculares al panel y dirigidos hacia a fuera según la imagen anterior

con perpendicularidad al papel y dirigidos hacia el lector, según la imagen adjunta.

El campo total vendrá a ser la suma de ambos vectores campo, siendo este de igual dirección, sentido y doble módulo.

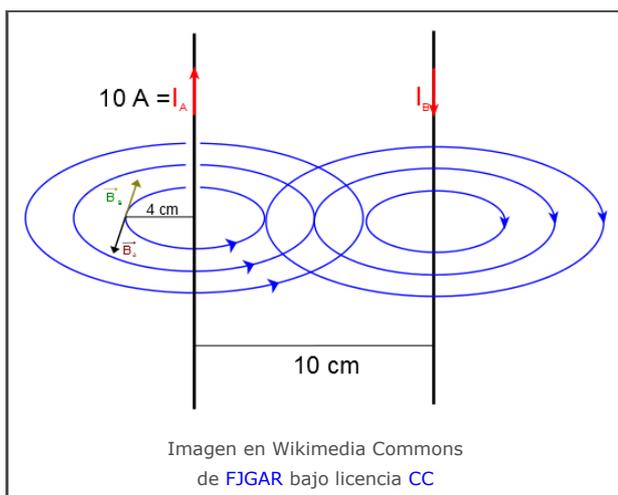
Si se invierte el sentido de una de las corrientes, uno de los vectores campo cambiara de sentido, como dos vectores que tienen la misma dirección y sentido contrario se restan, el campo total en esta nueva situación sera nulo en ese punto medio del segmento de unión.

## Ejercicio resuelto

Dos conductores rectilíneos, verticales y paralelos, A a la izquierda y B a la derecha, distan entre sí 10 cm. Por A circula una corriente de 10 A hacia arriba.  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$

a) Calcule la corriente que debe circular por B, para que el campo magnético en un punto situado a 4 cm a la izquierda de A sea nulo.

### Mostrar retroalimentación



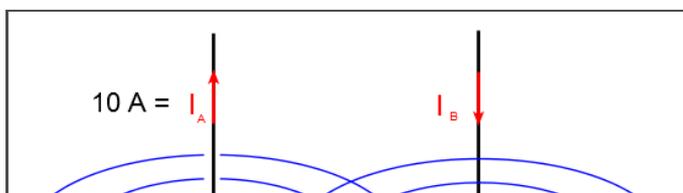
Una vez establecido el esquema de la situación y colocada el sentido de la corriente B para que se den las condiciones, te recuerdo el campo magnético a 4 cm de la izquierda de A. Se debe proceder al cálculo de la intensidad de B. Si te has fijado en el dibujo el sentido de la corriente B es contrario al que posee A.

Como en tal punto el campo magnético total tiene por condición la nulidad, quiere decir que ambos campos deben ser iguales en modulo, valor que se puede obtener desde la Ley de Ampère.

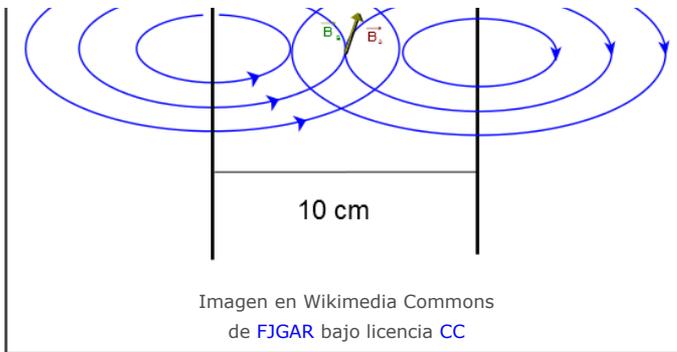
$$\begin{aligned}\frac{\mu_0 I_A}{2\pi r_A} &= \frac{\mu_0 I_B}{2\pi r_B} \\ \frac{\mu_0 10}{2\pi \cdot 4} &= \frac{\mu_0 I_B}{2\pi \cdot 14} \\ \frac{10}{4} &= \frac{I_B}{14} ; I_B = 35 \text{ A}\end{aligned}$$

b) Explique con ayuda de un esquema si puede ser nulo el campo magnético en un punto intermedio entre los dos conductores.

### Mostrar retroalimentación



El esquema de la situación muestra que en ningún momento pueden anularse los campos entre ellos, te recuerdo que la regla del sacacorchos o la de la mano derecha te ofrecen el



sentido del campo y el giro de las líneas de campo.

Para la situación en ambos casos, el sentido va en consonancia con la marcha de las agujas del reloj.

# Resumen

---

## Importante

### Fuerza magnética

la expresión de la ley de Coulomb para las interacciones entre imanes, muy similar a la que dedujo para las cargas.

$$F = \frac{\mu_0 \cdot m_1 \cdot m_2}{4\pi \cdot r^2}$$

La constante  $\mu_0$  se llama permeabilidad magnética del vacío y tiene un valor de  $4\pi \cdot 10^{-7}$ .

## Importante

### Campo magnético

De forma análoga a los otros campos también es posible establecer que el campo magnético viene a representar la fuerza magnética por unidad de masa magnética.

$$B = \frac{F}{m}$$

Quedando la inducción magnética expresada:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot m_1}{4\pi \cdot r^2}$$

## Importante

La ley de Lorentz establece la fuerza magnética que siente una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

## Importante

Importante

## Ley de Ampere

Su expresión es:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I$$

La expresión te ofrece el valor del campo magnético y la dirección, ya que el campo es perpendicular a la corriente y tangente a la trayectoria cerrada.

Para saber el sentido nos ayudamos de [la regla de la mano derecha](#). El pulgar es el referente y marca la dirección de la corriente eléctrica. Los dedos restantes al cerrar la mano indican la dirección del campo magnético.



*Importante*

---

Matemáticamente, la condición para determinar si un campo es conservativo o no es que su circulación a lo largo de un camino cerrado sea nulo.

## **AVISO DEL SERVIDOR**

**Por motivos de seguridad esta página web solo está accesible mediante acceso seguro (https):**

**[https://www.juntadeandalucia.es/Aviso\\_Legal\\_Andalucia\\_v04.htm](https://www.juntadeandalucia.es/Aviso_Legal_Andalucia_v04.htm)**

**Por favor, actualice sus marcadores. Gracias.**

# Imprimible

---

Descargar imprimible