Electromagnetismo y Optica - C

Ariel Chernomoretz

Organizacion de la materia

- **Teoricas**: Zoom en el horario de cursada (Mi-Vi 9-11). Formato pptx. Videos de la clase subidos a la nube.
- Practicas: Zoom en el horario de cursada (Mi-Vi 11-13). Videos/material sobre problemas elegidos en la nube.
- Laboratorio: Zoom en horario de cursada. Prácticas con simuladores

Para aprobar los trabajos prácticos deberán aprobar cada uno de los exámenes parciales (o sus respectivos recuperatorios) y contar con el laboratorio aprobado. Cada parcial se puede recuperar una vez (al final del cuatrimestre). La nota del recuperatorio reemplaza a todos los efectos a la nota del parcial correspondiente.

Recursos

Página de la materia:

[https://materias.df.uba.ar/eyoca2021c2]



Recursos

- Página de la materia: [https://materias.df.uba.ar/eyoca2021c2]
 - Novedades
 - Cronograma: Clases teoricas (videos, pptx), Bibliografia, Clases practicas (videos, notas
 - Guias
 - Bibliografia:
 - Electricidad y Magnetismo, Serway (3era Edicion),
 - Fisica Universitaria, Sears-Zemansky (Vol 2)
 - Optica, Hecht (3era Edicion)
 - Material adicional: applets, apuntes, videos, etc

(si hay mucha ansiedad...[https://materias.df.uba.ar/eyoba2020c2])

Campus virtual: foros

01. Coulomb / Campo Eléctrico

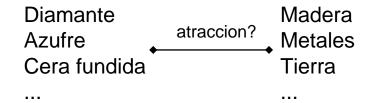
- → A lo largo de la historia los fenomenos eléctricos y magnéticos aparecieron como curiosidades
- → Tales de Mileto (600 A.C.):
 - Piedra imán (magnetita. isla de Magnesia) atraía limaduras de hierro.
 - Ambar (savia de arbol petrificada) atraía briznas de paja cuando era frotada con lana





→ William Gilbert (1581 D.C.): Medico y naturalista ingles.

Exprimentos frotando cosas





Quizas sí, despues de todo, se trate de un comportamiento universal...

- Clasifico a los materiales: vítreos (vidrios, lanas, ...) vs resinosos (ambar, seda,...)
- Introdujo la nocion de fuerza electrica para describir estos fenomenos (ἤλεκτρον (elektron) significa ambar en griego)

Ademas trabajo sobre magnetismo:

- Se dió cuenta que 2 extremos de la piedra imán era diferentes: los llamo polo Norte y polo Sur. Polos iguales se repelían y polos distintos se atraían
- Para explicar el funcionamiento de la brújula, propuso que la tierra se comportaba como iman (!)

Benjamin Franklin (1747)

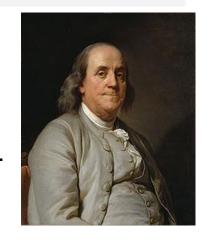
La electrificación por frotamiento se podía entender si se piensa que cuerpos vítreos reciben fluido carga eléctrica y los resinosos la entregaban.



Benjamin Franklin (1747)

La electrificación por frotamiento se podía entender si se piensa que cuerpos vítreos reciben carga eléctrica y los resinosos lo entregaban.

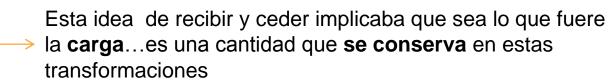
Esta idea de recibir y ceder implicaba que sea lo que fuere la **carga**...es una cantidad que **se conserva** en estas transformaciones

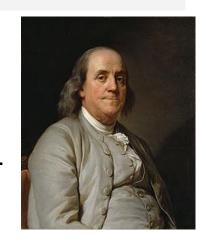




Benjamin Franklin (1747)

La electrificación por frotamiento se podía entender si se piensa que cuerpos vítreos reciben **carga eléctrica** y los resinosos lo entregaban.





Observaciones experimentales: sean A, B y C tres cuerpos cargados (i.e. frotados)

1: si A y B se repelen, entonces C o se repele con ambos o se atrae con ambos

2: si A y B se atraen, entonces C se repele con uno y se atrae con otro

Para explicar 1 y 2 se postula que: Existen cargas de 2 tipos (llamémoslas: positivas y negativas)

Cargas del mismo tipo se repelen Cargas de diferente tipo se atraen

Entonces

- La aparición de fuerzas e interacciones electrostáticas surgen cuando hay cuerpos cargados (i.e. desbalanceados en algun sentido en relación a una propiedad física nueva - diferente a la masa por ejemplo- llamada carga electrica)
- Cuerpos macroscópicos poseen un balance casi perfecto de cargas + y -, por lo que las interacciones electrostaticas son mucho mas débiles en esa escala.
- Vamos a ver que estas fuerzas pueden ser muy intensas. Dentro del núcleo (protones en cercanía de otros protones) por ejemplo son enormes.
- La carga mínima detectada es la del electrón. Es idéntica a la del protón, pero de signo contrario: $q_e=-e$, $q_p=+e$

Ley de Coulomb

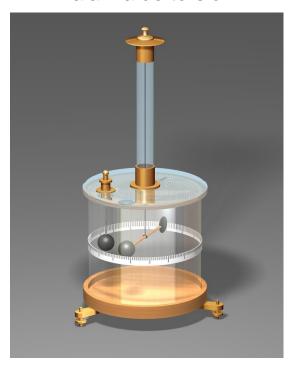
Charles-Augustin de Coulomb (1785)

Observaciones experimentales: Interacción de dos **cargas puntuales**, q_{1 y} q₂, en **reposo**:



Loi fondamentale de l'Electricité.

Balanza de torsión



https://www.youtube.com/watch?v=Mr7ecUUwDhE

La force répulsive de deux petits globes électrisés de la même nature d'électricité, est en raison inverse du carré de la distance du centre des deux globes.

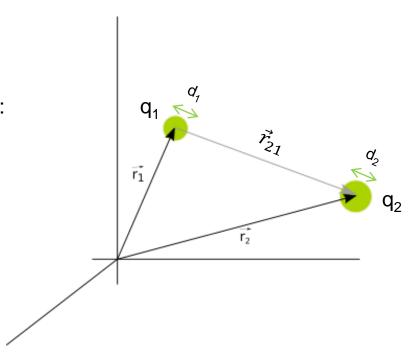
Ley de Coulomb

Charles-Augustin de Coulomb (1785)

Observaciones experimentales:

Interacción de dos cargas puntuales, q_1 , q_2 , en reposo:

$$|\vec{r}_{21}| \gg d_1, d_2$$



Ley de Coulomb

Charles-Augustin de Coulomb (1785)

Observaciones experimentales: Interacción de dos **cargas puntuales**, q_{1 v} q₂, en **reposo**:

La fuerza \vec{F}_{21} que q_1 realiza sobre q_2 resulta:

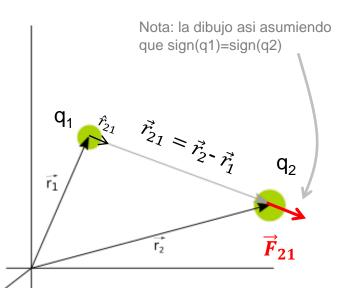
- Proporcional a las cargas
- Actúa en la dirección que une a q_{1 y} q₂
- Decae cuadráticamente con la distancia entre cargas
- Depende del medio en el que se encuentren las q´s

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$

$$k = \frac{k_0}{\kappa} \longleftarrow 8.98 \ 10^9 \ \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

$$\longleftarrow \text{cte dielectrica del medio } \ge 1$$

$$[q] = C$$
 Coulmb $1C = 6.241 \ 10^{18} \ e$



$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2} \hat{r}_{21}$$

 $\hat{r}_{21} = \frac{\vec{r}_{21}}{|\vec{r}_{21}|}$

Fuerza Coulombiana

Que intensidad tiene la repulsión de protones dentro del núcleo atómico?

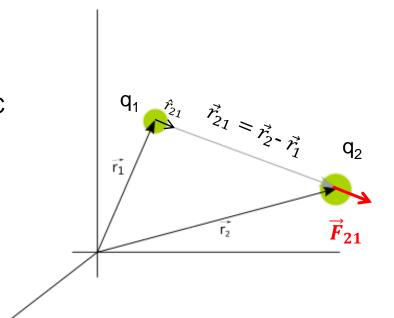
$$|\vec{r}_{21}| \sim 10^{-15} \text{ m}$$
 $m_p \sim 1.710^{-27} \text{ kg}$ $q_p = +e \sim 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$$|\vec{F}_{21}| = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} (1.6 \cdot 10^{-19}C)^2}{10^{-30}m^2}$$

$$=\frac{23\ 10^{-29}N}{10^{-30}}=230N$$

Que aceleracion produce una fuerza de 230N?

$$a = \frac{F}{m} = \frac{230N}{1.710^{-27} \text{ kg}} = 1.35 \ 10^{29} \ \frac{m}{s^2}$$



$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2} \hat{r}_{21}$$

$$k = k_0 \leftarrow 8.98 \, 10^9 \, \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

$$1C = 6.241 \, 10^{18} \, e$$

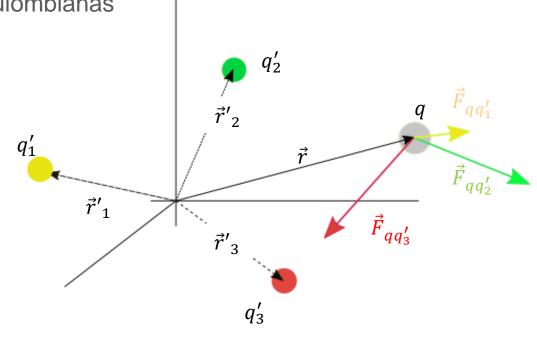
Principio de superposición

La fuerza ejercida sobre una carga q por un conjunto de cargas fuente {q'_1, q'_2, ..., q'_n} es la suma de todas las interacciones Coulombianas de q con cada carga fuente

$$\vec{F}_{q} = \vec{F}_{qq'_{1}} + \vec{F}_{qq'_{2}} + \dots + \vec{F}_{qq'_{n}}$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\vec{F}_{qq'_i}$$

$$\vec{F}_{q} = \sum_{i=1}^{n} k \frac{q q_{i}'}{\left| \vec{r} - \vec{r}_{q_{i}'} \right|^{3}} \left(\vec{r} - \vec{r}_{q_{i}'} \right)$$



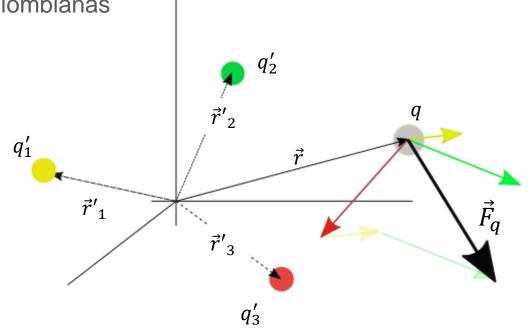
Principio de superposición

La fuerza ejercida sobre una carga q por un conjunto de cargas fuente {q'_1, q'_2, ..., q'_n} es la suma de todas las interacciones Coulombianas de q con cada carga fuente

$$\vec{F}_{q} = \vec{F}_{qq'_{1}} + \vec{F}_{qq'_{2}} + \dots + \vec{F}_{qq'_{n}}$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\vec{F}_{qq'_i}$$

$$\vec{F}_{q} = \sum_{i=1}^{n} k \frac{q q_{i}'}{\left| \vec{r} - \vec{r}_{q_{i}'} \right|^{3}} \left(\vec{r} - \vec{r}_{q_{i}'} \right)$$



Campo Eléctrico

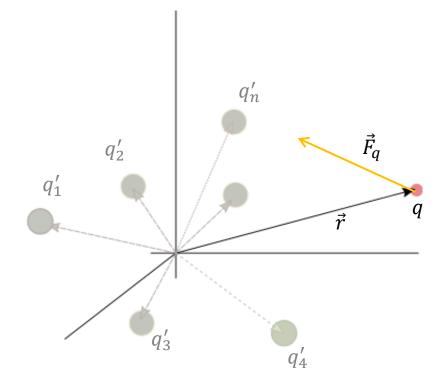
• Tengo n cargas fuente. Interesa caracterizar el **efecto que ese conjunto de fuentes** tendría sobre una carga de prueba q ubicada en una posición \vec{r} .

Vimos recien que

$$\vec{F}_{q} = \sum_{i=1}^{n} k \frac{qq'_{i}}{\left|\vec{r} - \vec{r}_{q'_{i}}\right|^{3}} (\vec{r} - \vec{r}_{q'_{i}})$$

$$\vec{F}_{q} = q \left[\sum_{i=1}^{n} k \frac{q'_{i}}{\left|\vec{r} - \vec{r}_{q'_{i}}\right|^{3}} (\vec{r} - \vec{r}_{q'_{i}}) \right]$$

$$\vec{F}_{q} = q \cdot \vec{E}(\vec{r})$$



Campo electrico generado por las fuentes

Depende de las fuentes y del punto del espacio donde estoy mirando el efecto de dichas fuentes

Campo Eléctrico

• Tengo n cargas fuente. Interesa caracterizar el **efecto que ese conjunto de fuentes** tendría sobre una carga de prueba q ubicada en una posición \vec{r} .

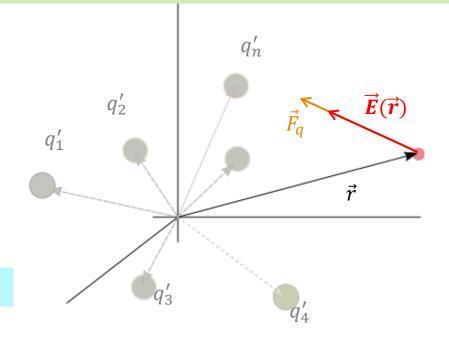
$$\vec{F}_q = q \cdot \vec{E}(\vec{r}) \longrightarrow \vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{q} \vec{F}_q$$

Fuerza **por unidad de carga** que afectaría a una carga de prueba q cuando la posiciono en \vec{r} en presencia de las cargas fuente.

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{n} k \frac{q'_i}{\left| \vec{r} - \vec{r}_{q'_i} \right|^3} \left(\vec{r} - \vec{r}_{q'_i} \right)$$

 \vec{E} depende de distribucion de fuentes en el espacio y del punto del espacio donde estoy mirando el efecto de dichas fuentes

 $\vec{E}(\vec{r})$ asocia a cada punto del espacio un vector



Unidades: [E] = N/C

Campo E de una carga puntual

$$\vec{F}_{q} = k \frac{qq'}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'}|^{3}} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$$

 $\vec{F}_q = k \frac{qq'}{\left|\vec{r} - \vec{r}_{q'}\right|^3} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$ \leftarrow Fza que experimenta una carga q en presencia de una ca

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q_i'}{\left|\vec{r} - \vec{r}_{q'}\right|^3} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$$

Como la carga esta en el origen:

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

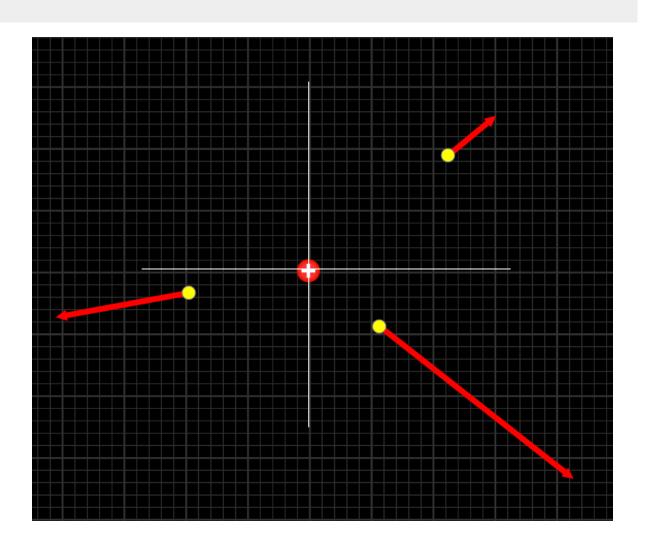
Campo E de una carga puntual

$$\vec{F}_{q} = k \frac{qq'}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'}|^{3}} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q_i'}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'}|^3} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$$

Como la carga esta en el origen:

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$



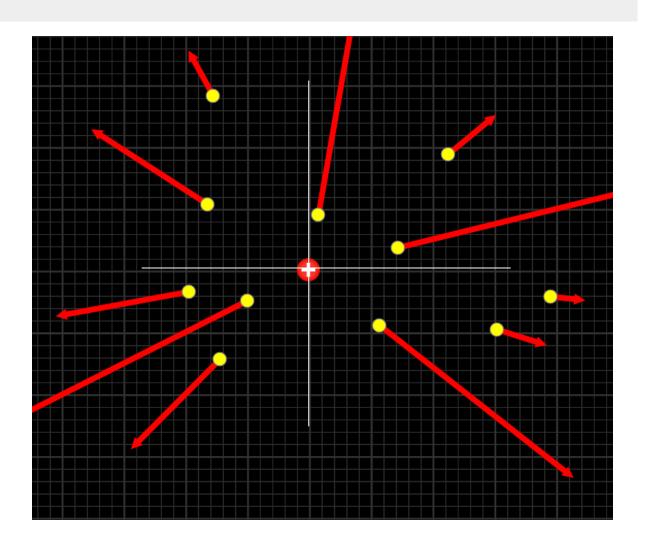
Campo E de una carga puntual

$$\vec{F}_{q} = k \frac{qq'}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'}|^{3}} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q_i'}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'}|^3} (\vec{r} - \vec{r}_{q'})$$

Como la carga esta en el origen:

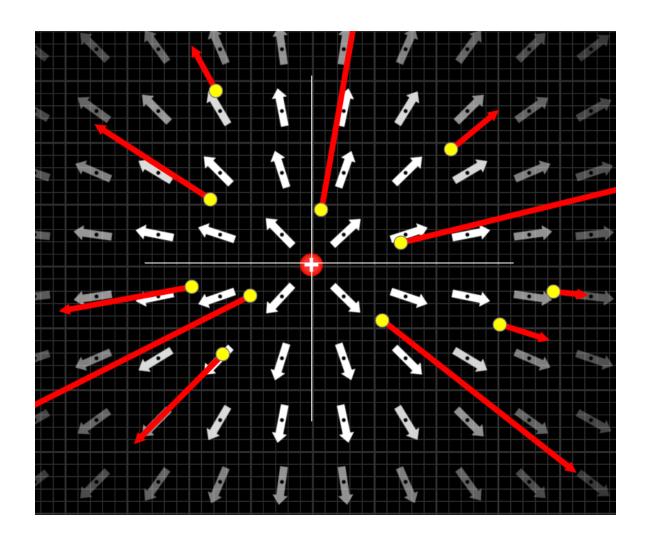
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$



Representaciones del campo electrico

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

A cada punto del espacio le asigno un vector...como puedo **visualizar** esto?

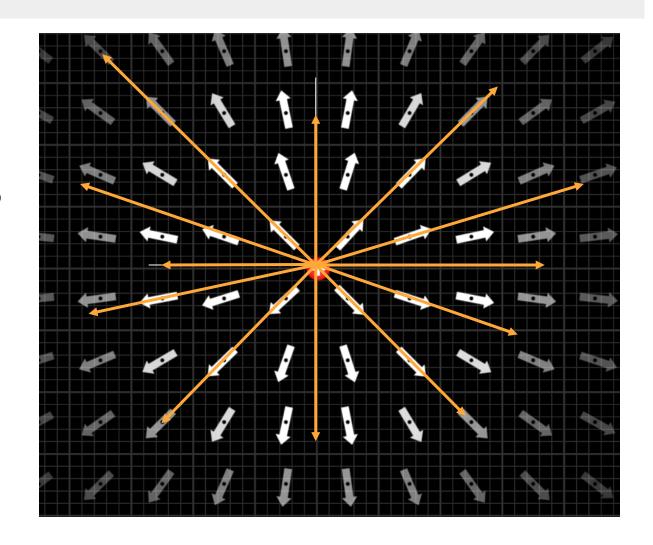


Lineas de campo: carga puntual positiva en el origen

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

A cada punto del espacio le asigno un vector...como puedo visualizar esto?

Las **lineas de campo** son lineas que, en cada punto del espacio, son **tangentes** al campo electrico.



Lineas de campo: carga puntual positiva en el origen

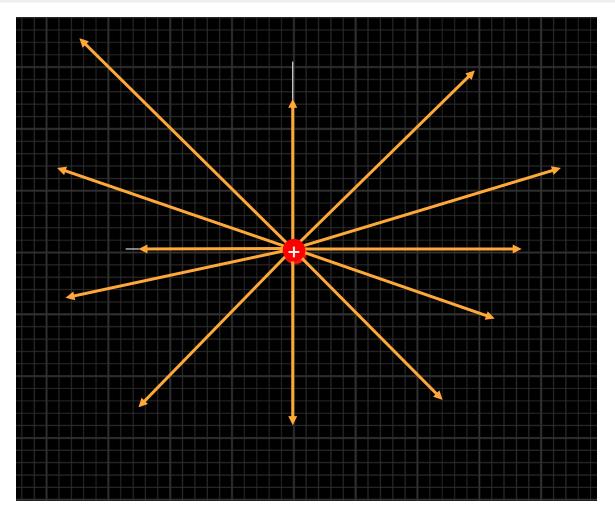
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

A cada punto del espacio le asigno un vector...como puedo visualizar esto?

Las **lineas de campo** son lineas que, en cada punto del espacio, son **tangentes** al campo electrico.

Notar:

 Lineas parecen crearse y diverger desde la carga fuente positiva.



 Si bien cada linea pierde informacion de intensidad de E, las zonas de mayor densidad de lineas se corresponden con mayor intensidad del campo

Lineas de campo: carga puntual negativa en el origen

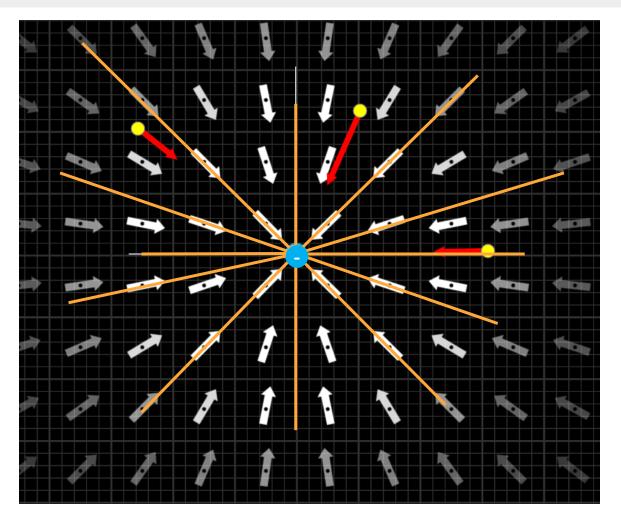
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

A cada punto del espacio le asigno un vector...como puedo visualizar esto?

Las **lineas de campo** son lineas que, en cada punto del espacio, son **tangentes** al campo electrico.

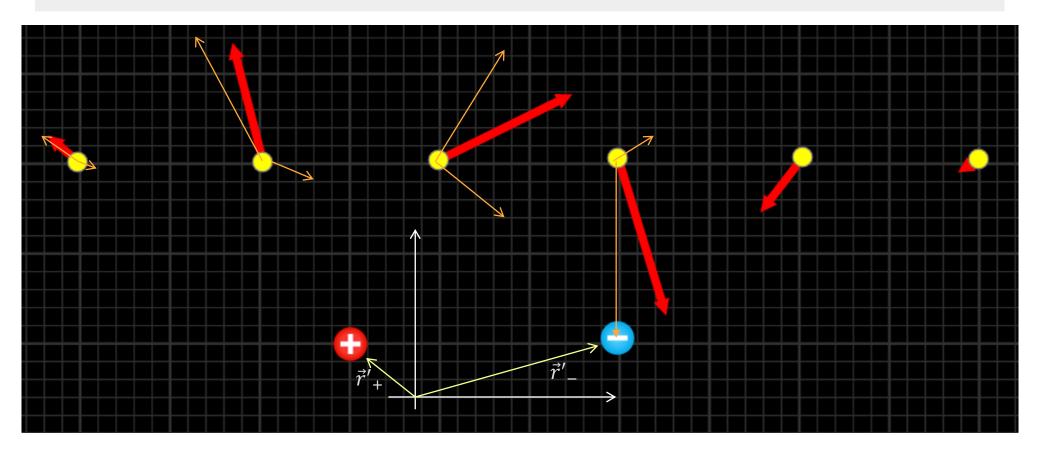
Notar:

 Lineas parecen converger y desaparecer en la carga fuente negativa.



 Si bien cada linea pierde informacion de intensidad de E, las zonas de mayor densidad de lineas se corresponden con mayor intensidad del campo

2 cargas, 2

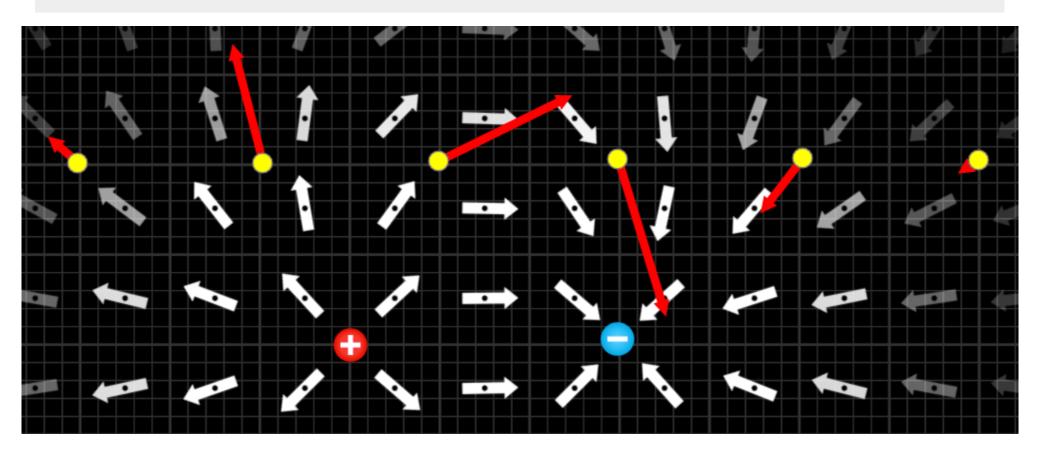


$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

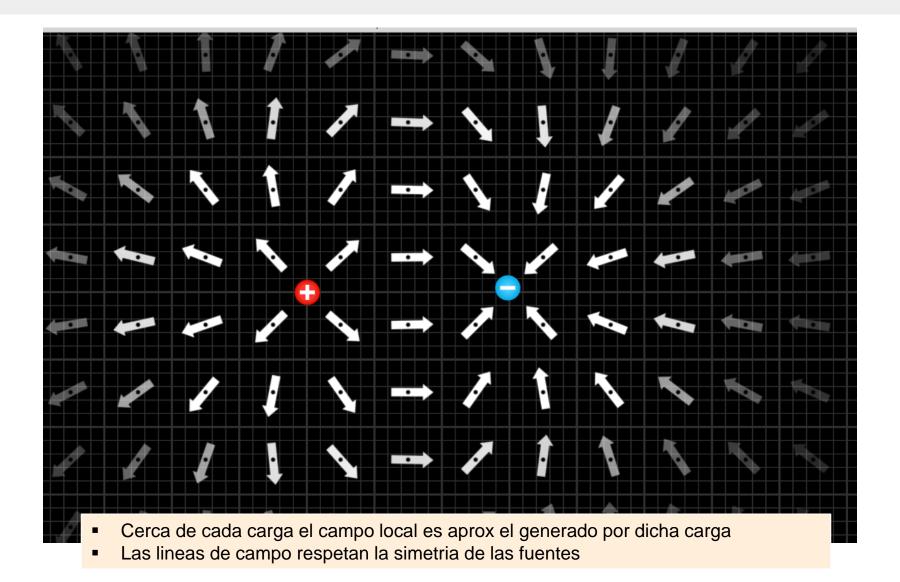
$$\vec{E} = \vec{E}_{+} + \vec{E}_{-}$$

$$\vec{E}_{\pm}(\vec{r}) = k \frac{q'_{\pm}}{\left|\vec{r} - \vec{r}'_{\pm}\right|^{3}} (\vec{r} - \vec{r}'_{\pm})$$

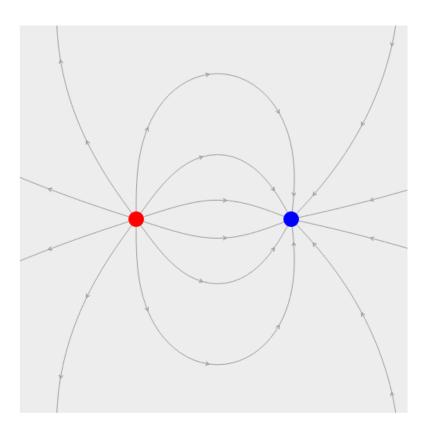
2 cargas 2



Lineas de campo: 2 cargas

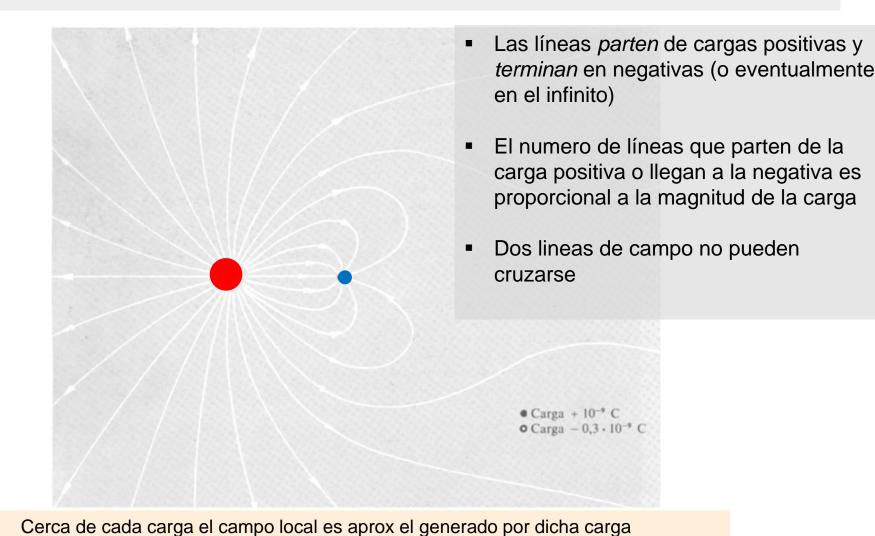


Lineas de campo: 2 cargas



- Cerca de cada carga el campo local es aprox el generado por dicha carga
- Las lineas de campo respetan la simetria de las fuentes

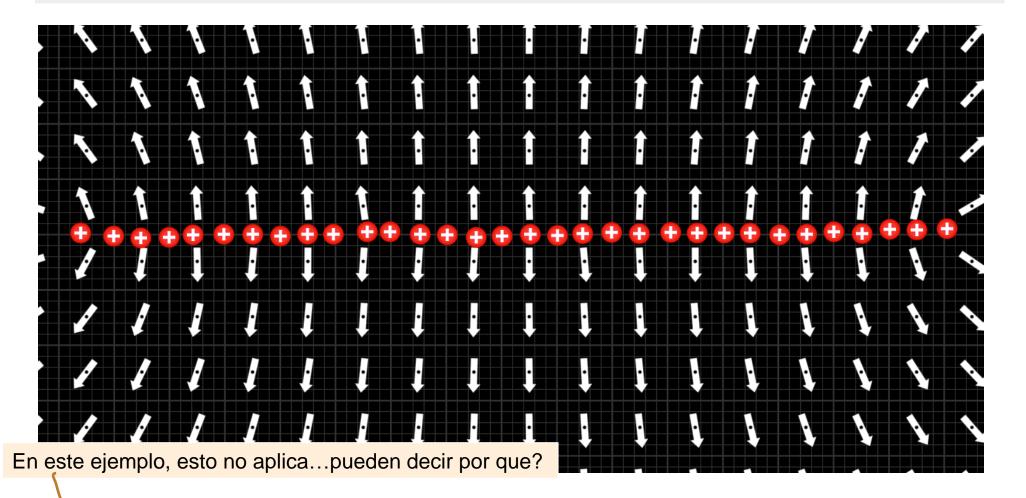
Lineas de campo: 2 cargas



Las lineas de campo respetan la simetria de las fuentes

31

Lineas de campo: 'hilo' cargado



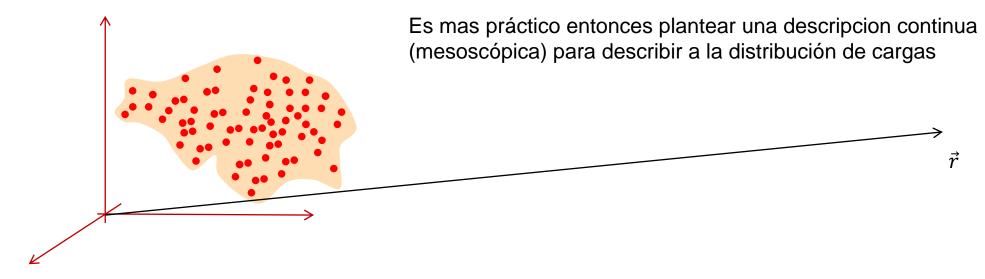
- Cerca de cada carga el campo local es aprox el generado por dicha carga
- Las lineas de campo respetan la simetria de las fuentes

Distribuciones continuas de carga

Los objetos físicos portadores de cargas son en última instancia objetos
discretos. Sin embargo muchas veces es ventajoso pensar en distribuciones
continuas de carga

Depende de cuál sea la descripción que interese elaborar.

Por ejemplo... interesa estimar el campo electrico para $\vec{r} \gg$ dist tipica entre cargas fuentes

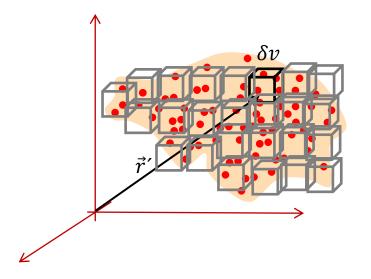


Distribuciones continuas de carga

Los objetos físicos portadores de cargas son en última instancia objetos
discretos. Sin embargo muchas veces es ventajoso pensar en distribuciones
continuas de carga

Depende de cuál sea la descripción que interese elaborar.

Por ejemplo... interesa estimar el campo electrico para $\vec{r} \gg$ dist tipica entre cargas fuentes



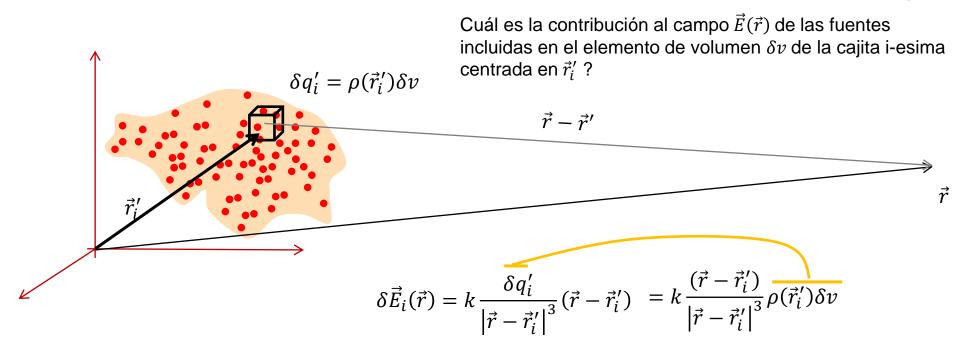
Es mas práctico entonces plantear una descripcion continua (mesoscópica) para describir a la distribución de cargas

Se consigna cuanta **carga por unidad de volumen** se encuentra dentro de un volumen δv centrado en \vec{r}'

$$\rho(\vec{r}') = \frac{\delta q'}{\delta v}$$

Descripción continua de la distribución de fuentes

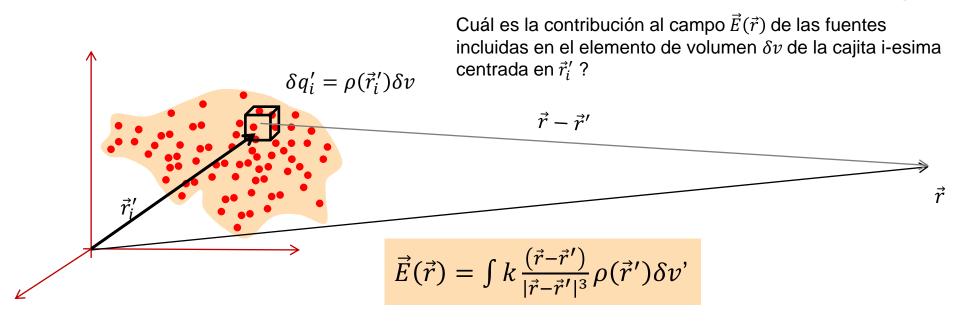
Campo producido por distribuciones continuas de carga



El campo eléctrico total resulta de sumar la contribución de las cargas de todas las cajitas

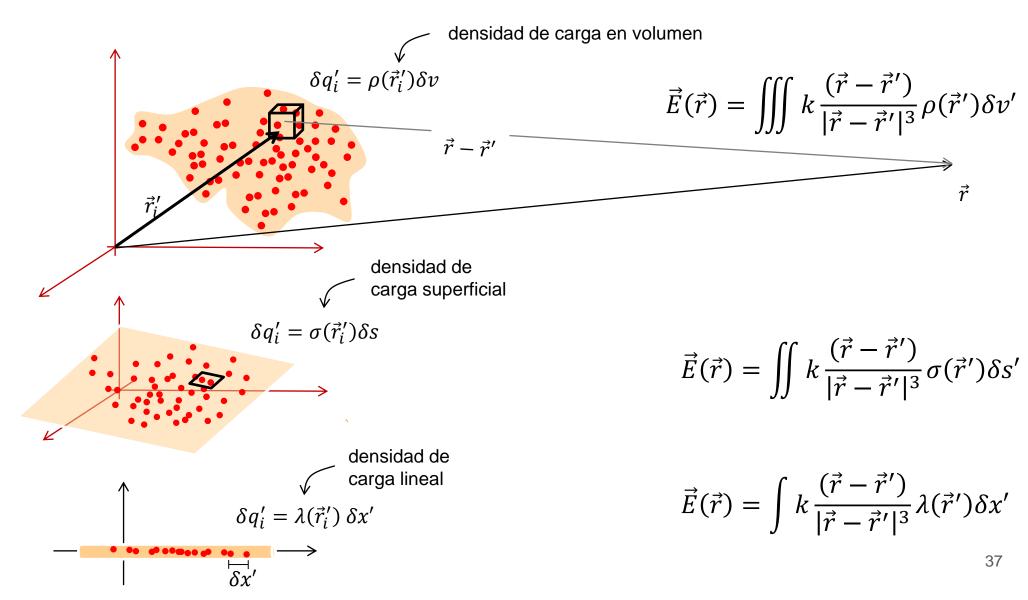
$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{N} \delta \vec{E}_i(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{N} k \frac{(\vec{r} - \vec{r}_i')}{|\vec{r} - \vec{r}_i'|^3} \rho(\vec{r}_i') \delta v \xrightarrow[N \to \infty]{} \vec{E}(\vec{r}) = \int k \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \rho(\vec{r}') \delta v'$$

Campo producido por distribuciones continuas de carga

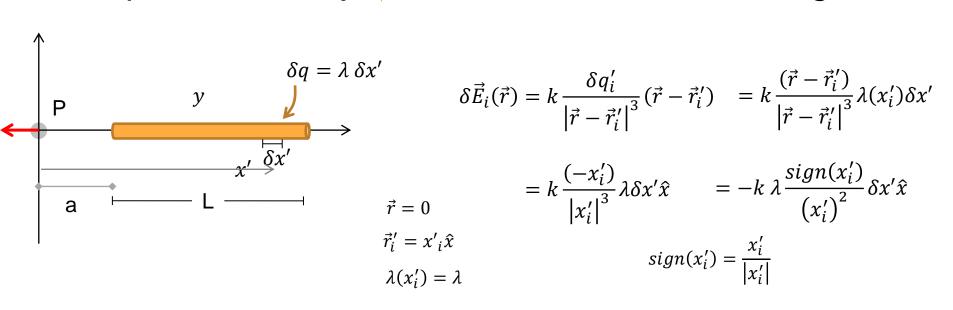


- Cada δv ' contribuye al campo total
- El resultado es la suma de todas esas contribuciones
- El campo se calcula como una integral en volumen sobre las *variables fuente*
- Toda la información sobre las fuentes está contenida en $\rho(\vec{r}')$

Campo producido por distribuciones continuas de carga



Campo sobre el eje de una distribución de carga lineal

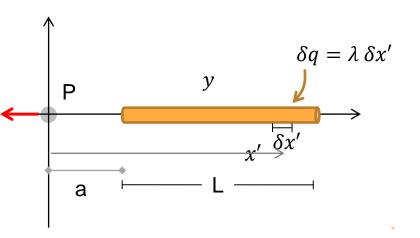


$$\vec{E}_P = -k \lambda \int_a^{a+L} \frac{sign(x')}{(x')^2} \delta x' \, \hat{x} \qquad = -k \lambda \int_a^{a+L} \frac{1}{(x')^2} \delta x' \, \hat{x}$$

$$= -k \lambda \left[-\frac{1}{x'} \right]_a^{a+L} \hat{x} \qquad = k \lambda \left[\frac{1}{a+L} - \frac{1}{a} \right] \hat{x} \qquad = k \lambda \left[\frac{a - (a+L)}{(a+L)a} \right] \hat{x}$$

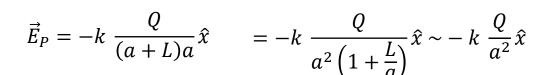
$$\vec{E}_P = -k \; \frac{\lambda L}{(a+L)a} \hat{x}$$

Campo sobre el eje de una distribución de carga lineal



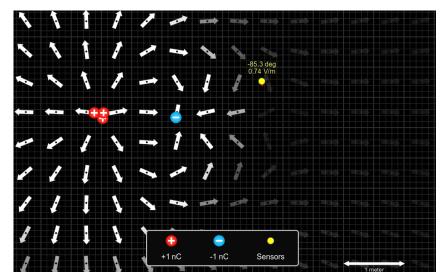
$$\vec{E}_P = -k \; \frac{\lambda L}{(a+L)a} \hat{x} = -k \; \frac{Q}{(a+L)a} \hat{x}$$

Que pasaria si a>>L?



Animemosnos

- Phet charges-and-fields
- Desafio electric-hockey



https://phet.colorado.edu/en/simulation/charges-and-fields

https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/electric-hockey

