

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/eyoca2021c1>]



The screenshot shows the homepage of the Department of Physics at the University of Buenos Aires. The header features a large blue 'df' logo and the text 'departamento de física universidad de buenos aires - exactas Juan José Giambiagi'. Below the header is a navigation menu with links: Principal, Programa, Cronograma, Gulas, Laboratorio, Material Adicional, and Parciales. The main content area displays a welcome message: 'Bienvenid@s!' posted on July 11, 2012. The message text reads: 'Les damos la bienvenida a la cursada de Electromagnetismo y Óptica 2020. En el contexto de la medidas de aislamiento vigente, este cuatrimestre tendrá mucha componente virtual, que buscaremos aprovechar para que esta cursada sea productiva y llevadera. Juega a nuestro favor que esta será nuestra segunda experiencia en esta modalidad, por lo que tod@s ya tenemos alguna idea de las herramientas, tecnologías, fortalezas y desafíos que pueden aparecer en el camino y en algún sentido nos'. To the right of the message is a subscription form with the heading 'SUSCRIBITE', a 'Your email:' label, an input field 'Enter email address...', and 'Subscribe' and 'Unsubscribe' buttons. Below the form is a search bar with a magnifying glass icon and the word 'Search'. At the bottom right, there is a section for 'ENTRADAS RECIENTES' (Recent Entries) with a single entry: '■ Bienvenid@s!'.

Recursos

- **Página de la materia:** [<https://materias.df.uba.ar/eyoca2021c21>]
 - 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

El comienzo...

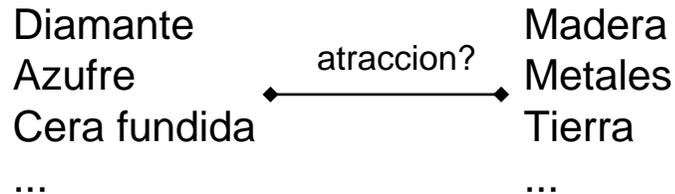
- A lo largo de la historia los fenómenos eléctricos y magnéticos aparecieron como curiosidades
- Tales de Mileto (600 A.C.):
 - ◆ Piedra *imán* (magnetita. isla de Magnesia) atraía limaduras de hierro.
 - ◆ *Ambar* (savia de árbol petrificada) atraía briznas de paja **cuando era frotada** con lana



El comienzo...

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

Experiments *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 noción de **fuerza electrica** para describir estos fenomenos (ἤλεκτρον (*elektron*) significa ambar en griego)

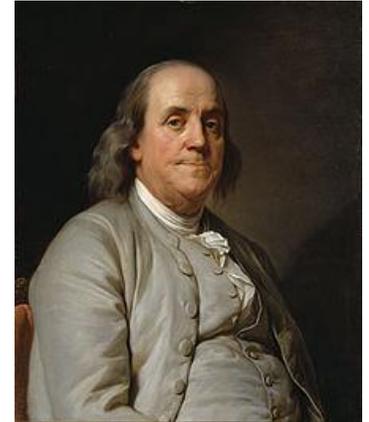
Ademas trabajo sobre magnetismo:

- 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 (!)

El comienzo...

- Benjamin Franklin (1747)

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

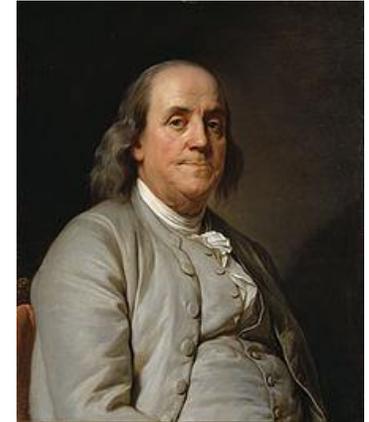


El comienzo...

- 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

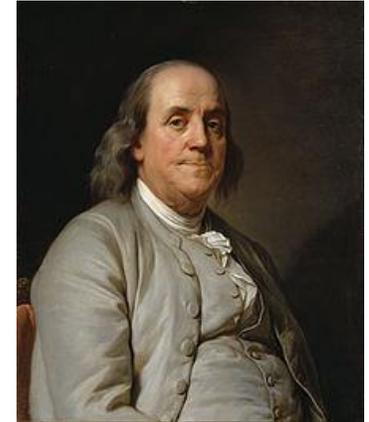


El comienzo...

- 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



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 algún sentido en relación a una propiedad física *nueva* - diferente a la *masa* por ejemplo- llamada *carga eléctrica*)
- Cuerpos macroscópicos poseen un balance casi perfecto de cargas + y -, por lo que las interacciones electrostáticas son mucho más 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:

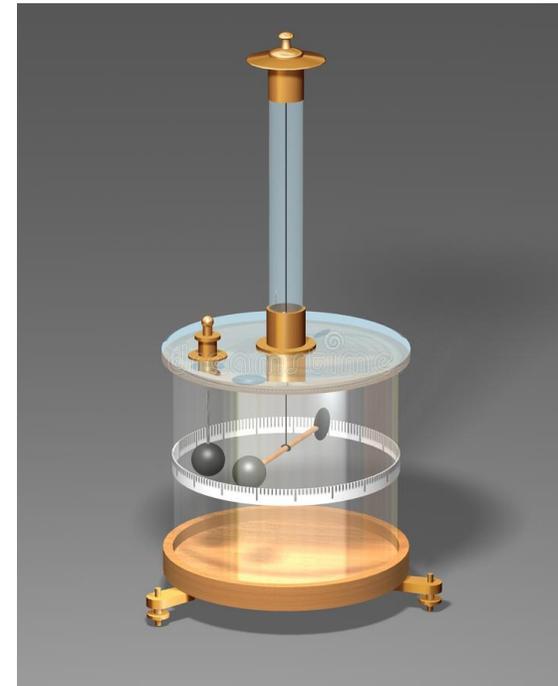
Interacción de dos **cargas puntuales**, q_1 y q_2 , en **reposo**:



Loi fondamentale de l'Électricité.

'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.'

Balanza de torsión



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

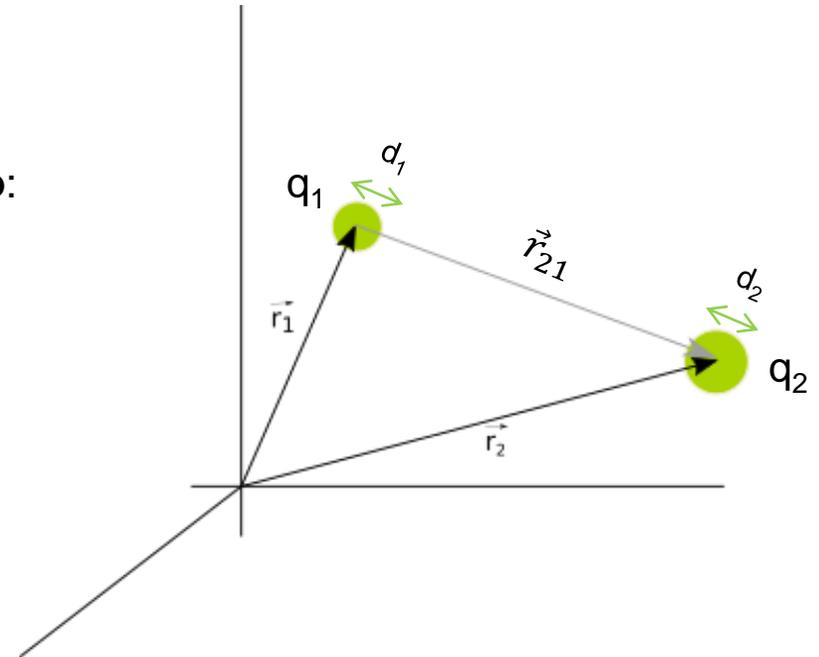
Ley de Coulomb

- Charles-Augustin de Coulomb (1785)

Observaciones experimentales:

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

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



Ley de Coulomb

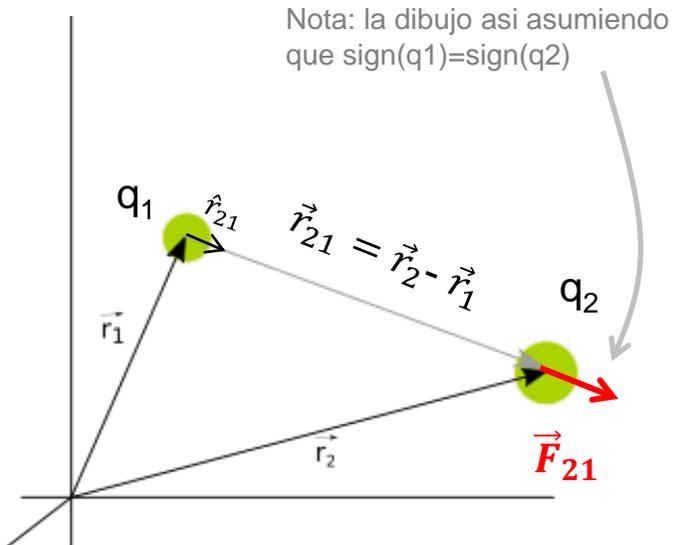
- Charles-Augustin de Coulomb (1785)

Observaciones experimentales:

Interacción de dos **cargas puntuales**, q_1 y q_2 , 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 q_2
- Decae cuadráticamente con la distancia entre cargas
- Depende del medio en el que se encuentren las q 's



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

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

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

$$k = \frac{k_0}{\kappa} \leftarrow \begin{array}{l} 8.98 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \\ \text{cte dielectrica del medio} \geq 1 \end{array}$$

$$[q] = \text{C} \quad \text{Coulomb} \quad 1\text{C} = 6.241 \cdot 10^{18} e$$

Fuerza Coulombiana

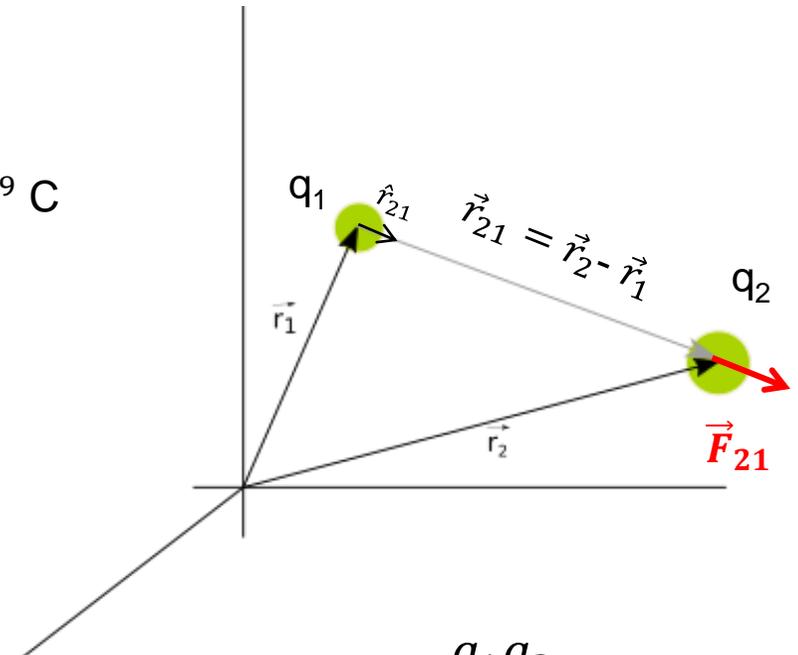
Que intensidad tiene la repulsión de protones dentro del núcleo atómico?

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

$$|\vec{F}_{21}| = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{10^{-30} \text{ m}^2}$$
$$= \frac{23 \cdot 10^{-29} \text{ N}}{10^{-30}} = 230 \text{ N}$$

Que aceleración produce una fuerza de 230N?

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



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

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

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

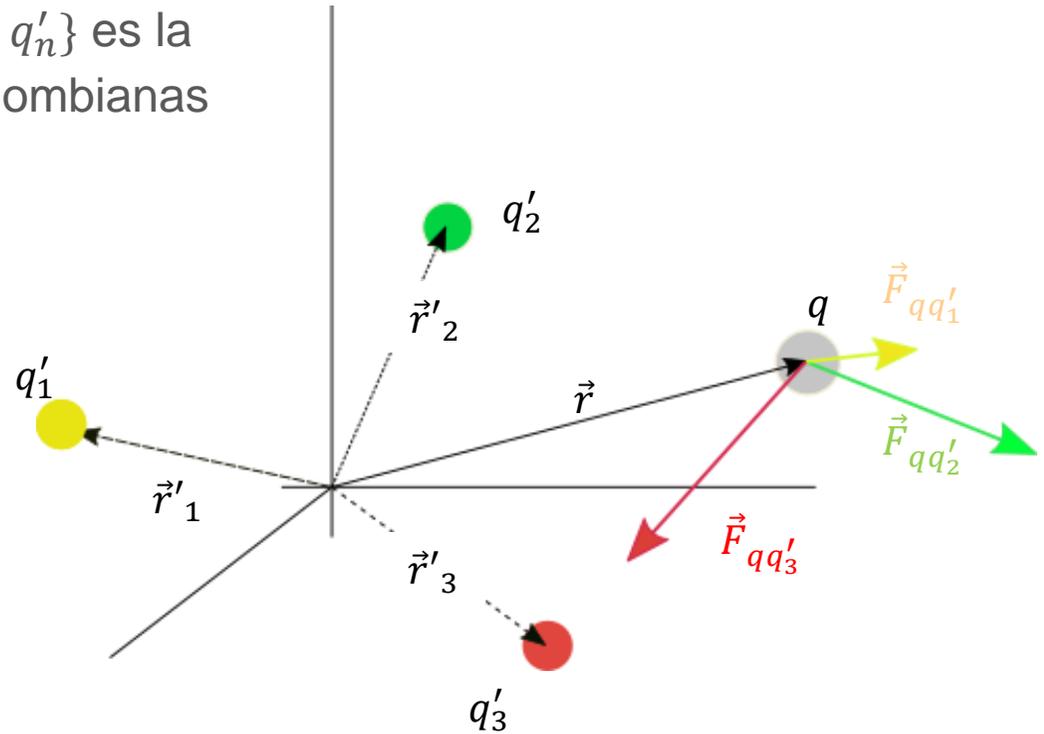
Principio de superposición

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

$$\vec{F}_q = \vec{F}_{qq'_1} + \vec{F}_{qq'_2} + \dots + \vec{F}_{qq'_n}$$

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

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



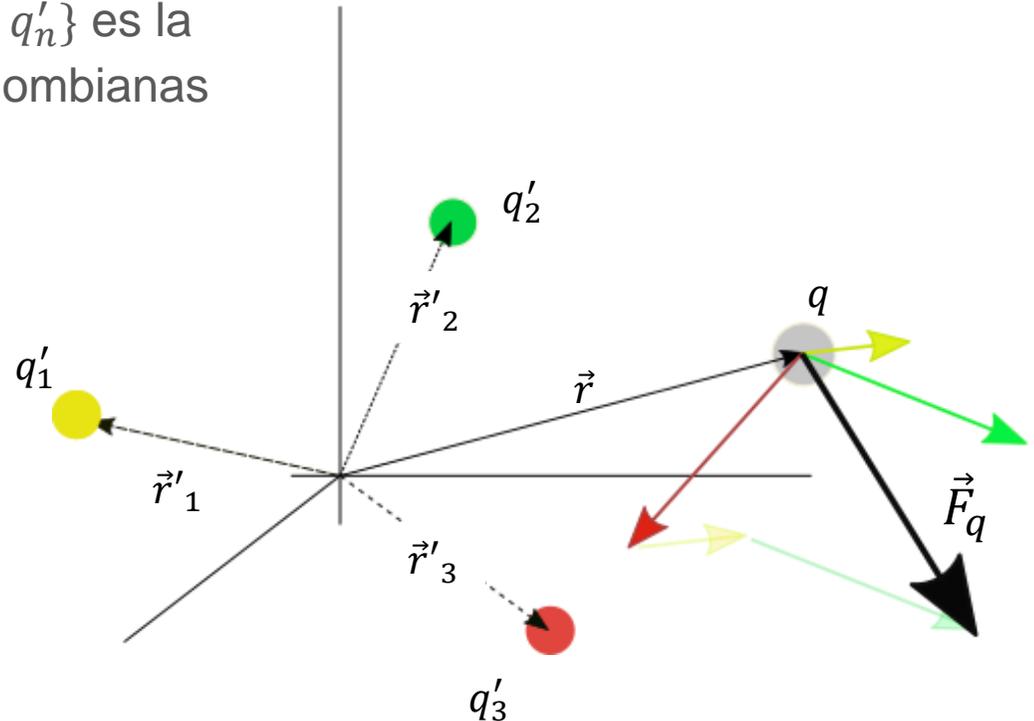
Principio de superposición

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

$$\vec{F}_q = \vec{F}_{qq'_1} + \vec{F}_{qq'_2} + \dots + \vec{F}_{qq'_n}$$

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

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



Campo Eléctrico

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

Vimos recién que

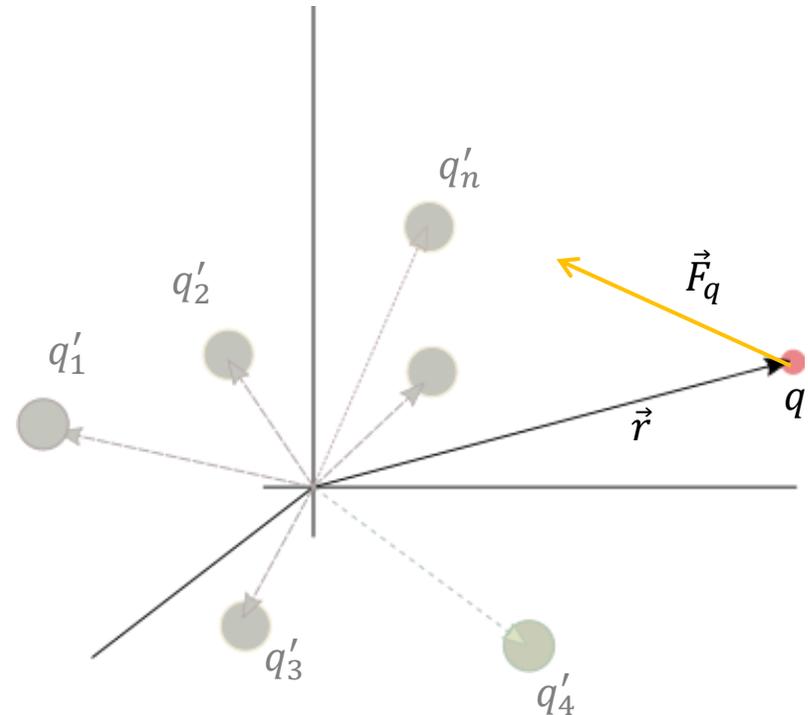
$$\vec{F}_q = \sum_{i=1}^n k \frac{qq'_i}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'_i}|^3} (\vec{r} - \vec{r}_{q'_i})$$

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

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

Campo eléctrico 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 *fuentes*. Interesa caracterizar el **efecto que ese conjunto de fuentes** tendría sobre una carga de prueba q ubicada en una posición \vec{r} .

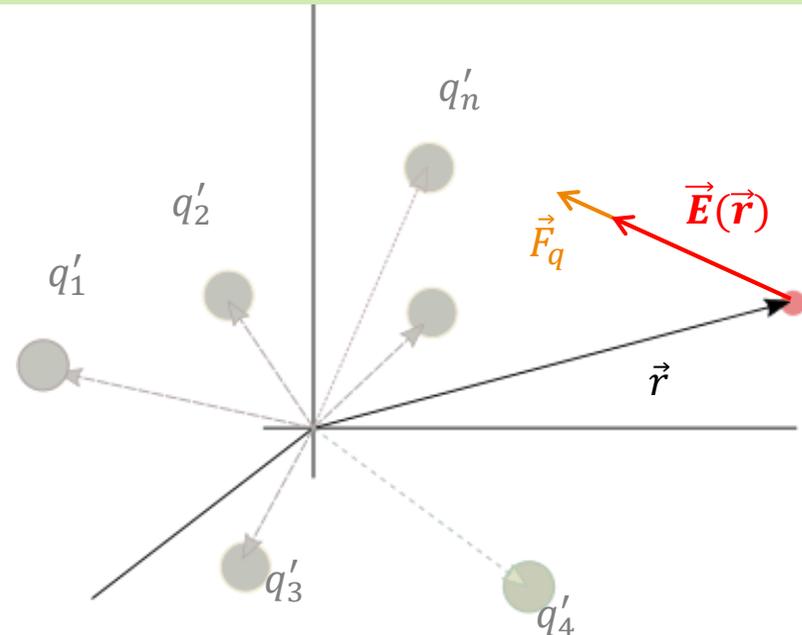
$$\vec{F}_q = q \cdot \vec{E}(\vec{r}) \longrightarrow \vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{q} \vec{F}_q$$

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.

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

\vec{E} depende de distribución 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

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

← Fza que experimenta una carga q en presencia de una carga fuente q'

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

← Campo electrostatico generado por una carga fuente q'

Como la carga esta en el origen:

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

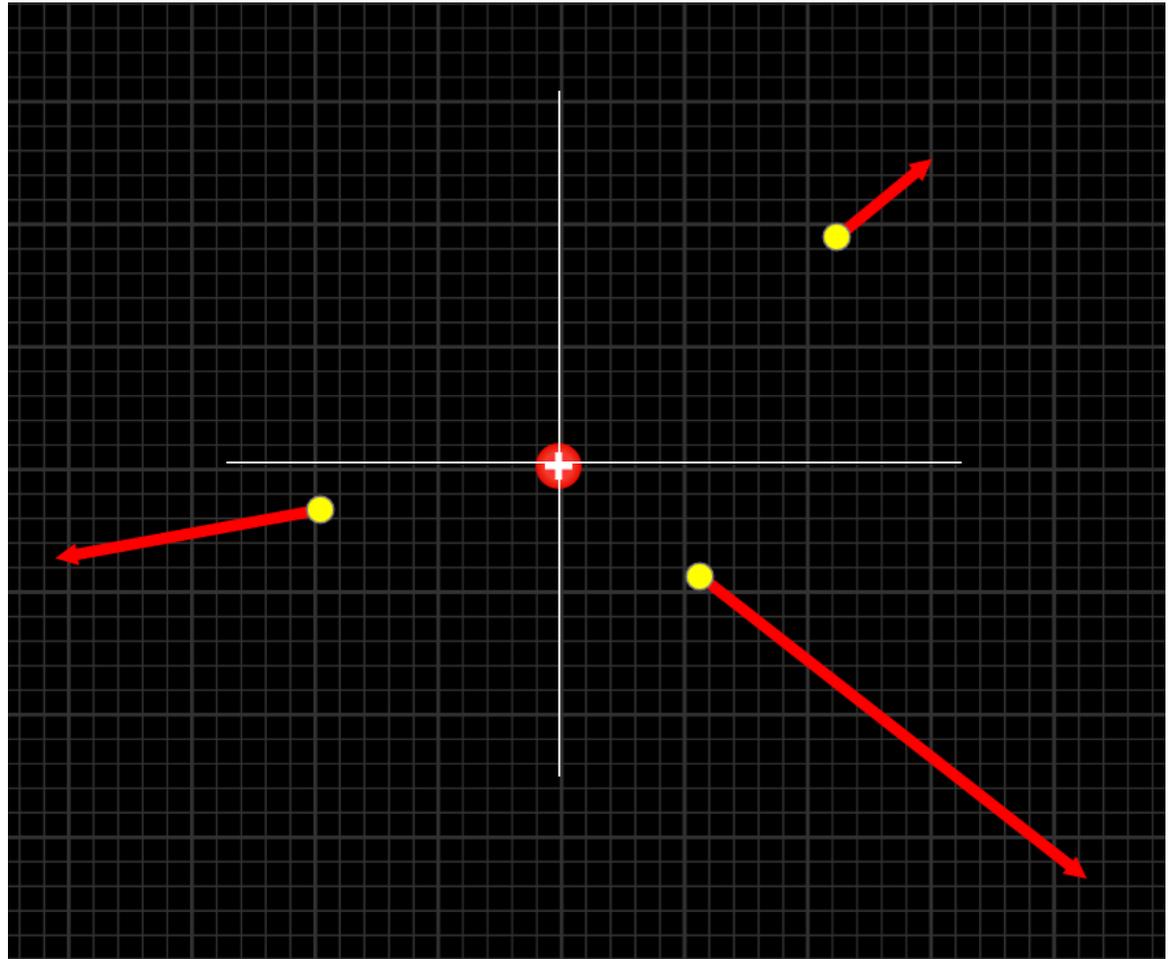
Campo E de una carga puntual

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

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

Como la carga esta en el origen:

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



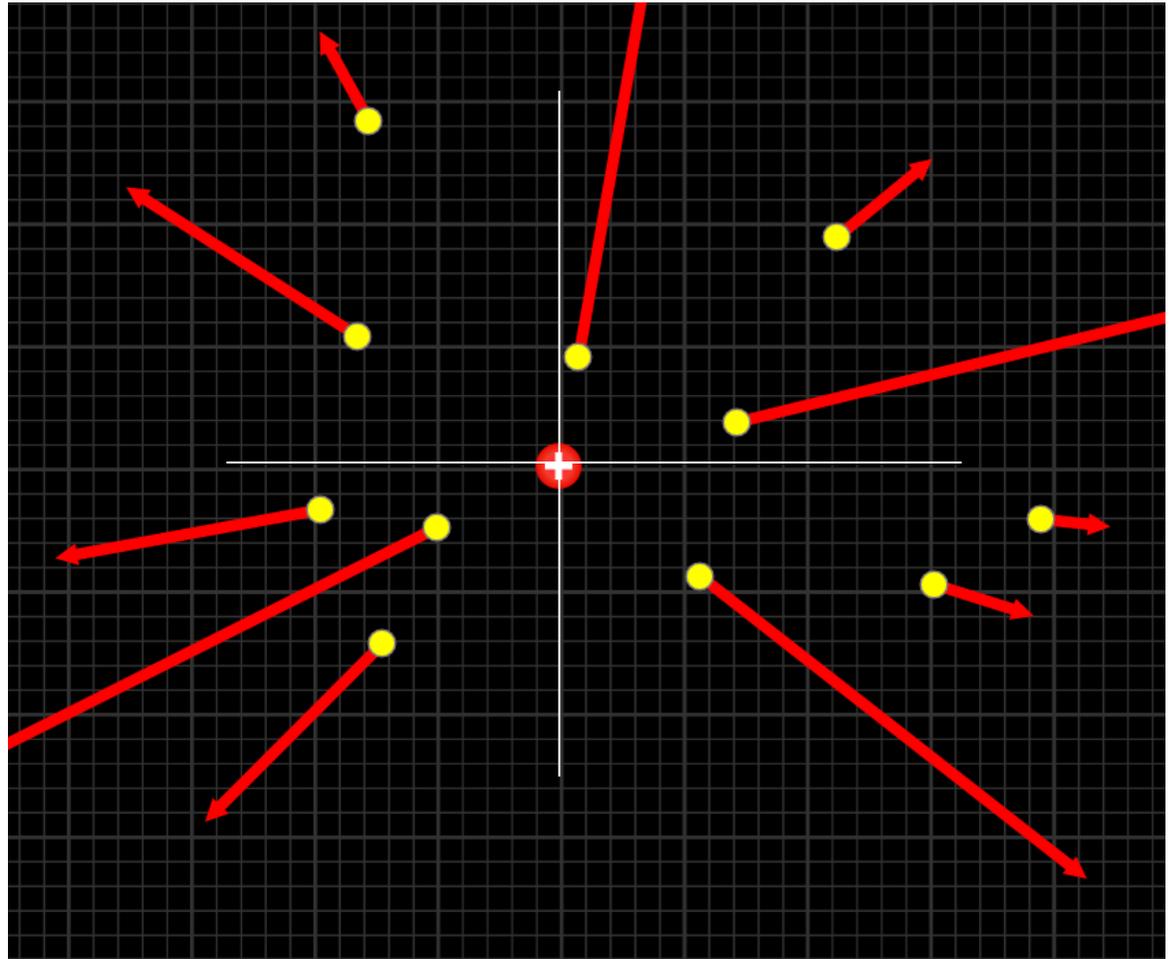
Campo E de una carga puntual

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

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

Como la carga esta en el origen:

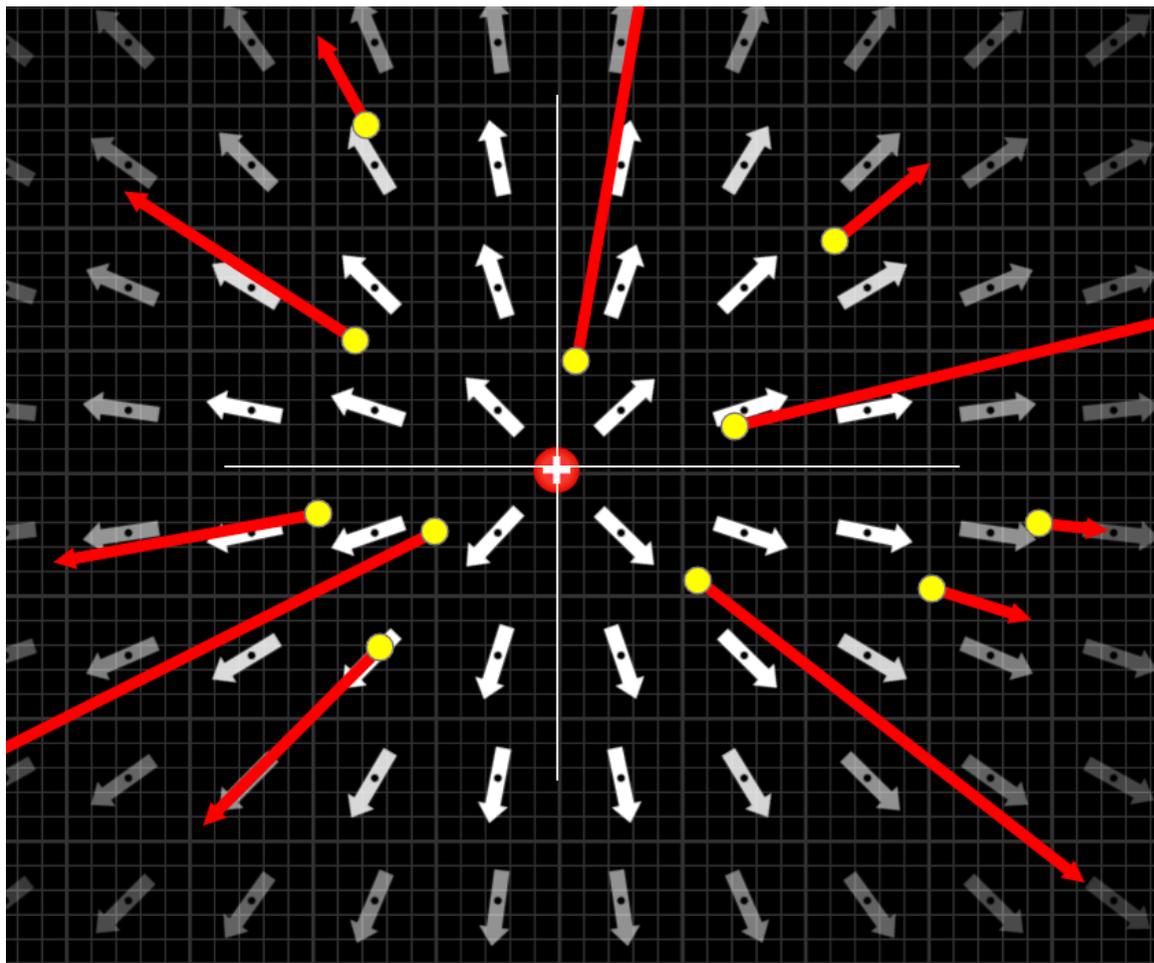
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$



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?

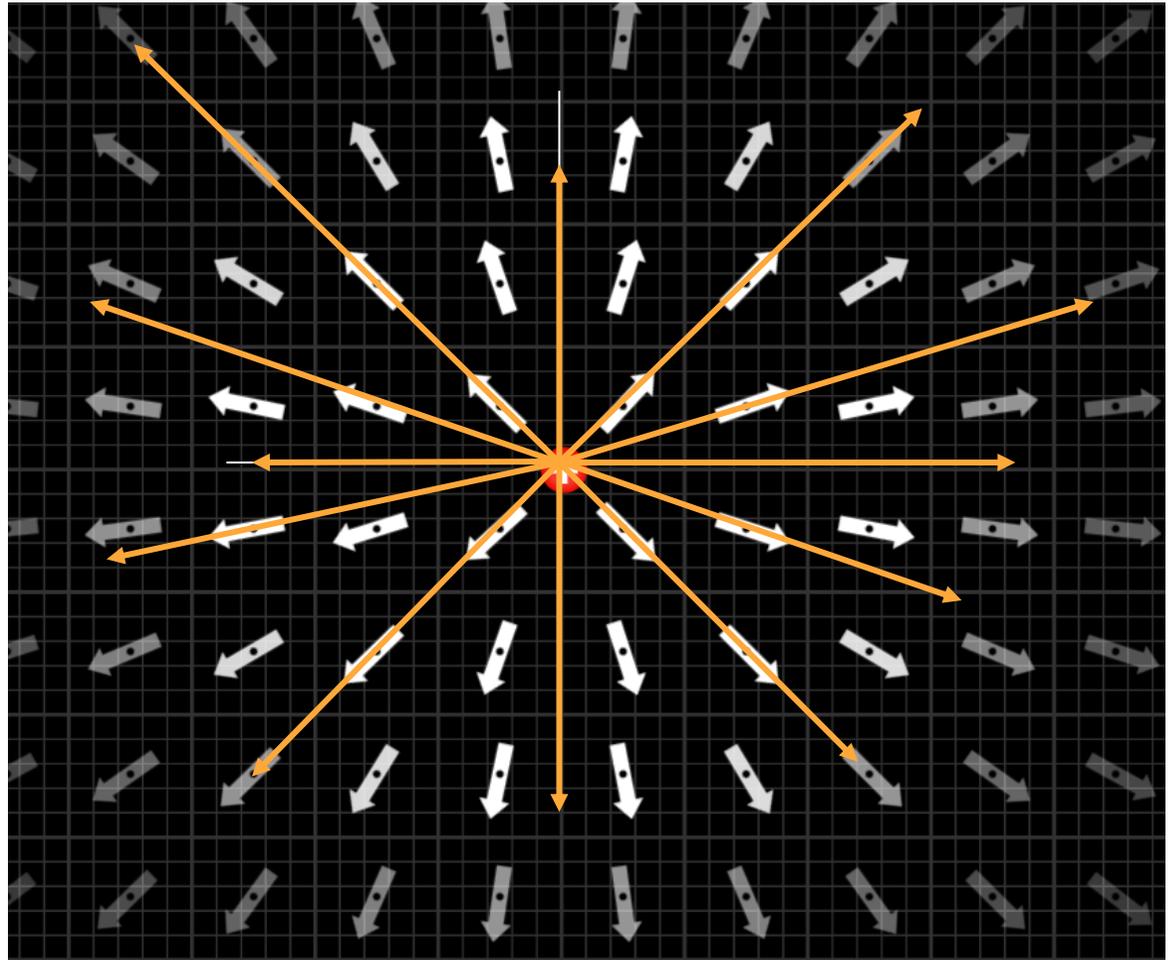


Lineas de campo: carga puntual **positiva** en el origen

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

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

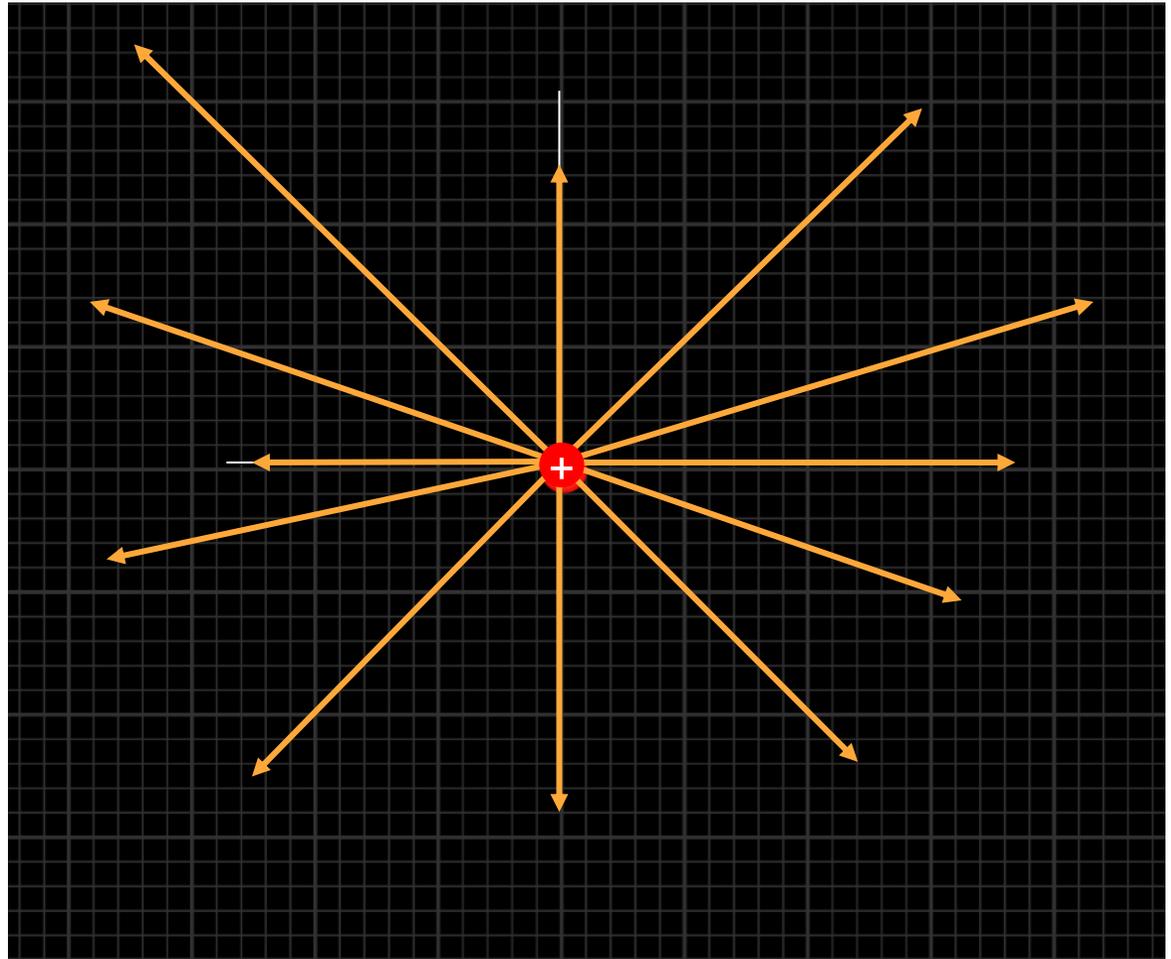
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

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

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

Notar:

- Líneas parecen **crearse y diverger** desde la carga fuente positiva.
- Si bien cada línea pierde información de intensidad de E, las zonas de **mayor densidad** de líneas se corresponden con **mayor intensidad** del campo



Lineas de campo: carga puntual **negativa** en el origen

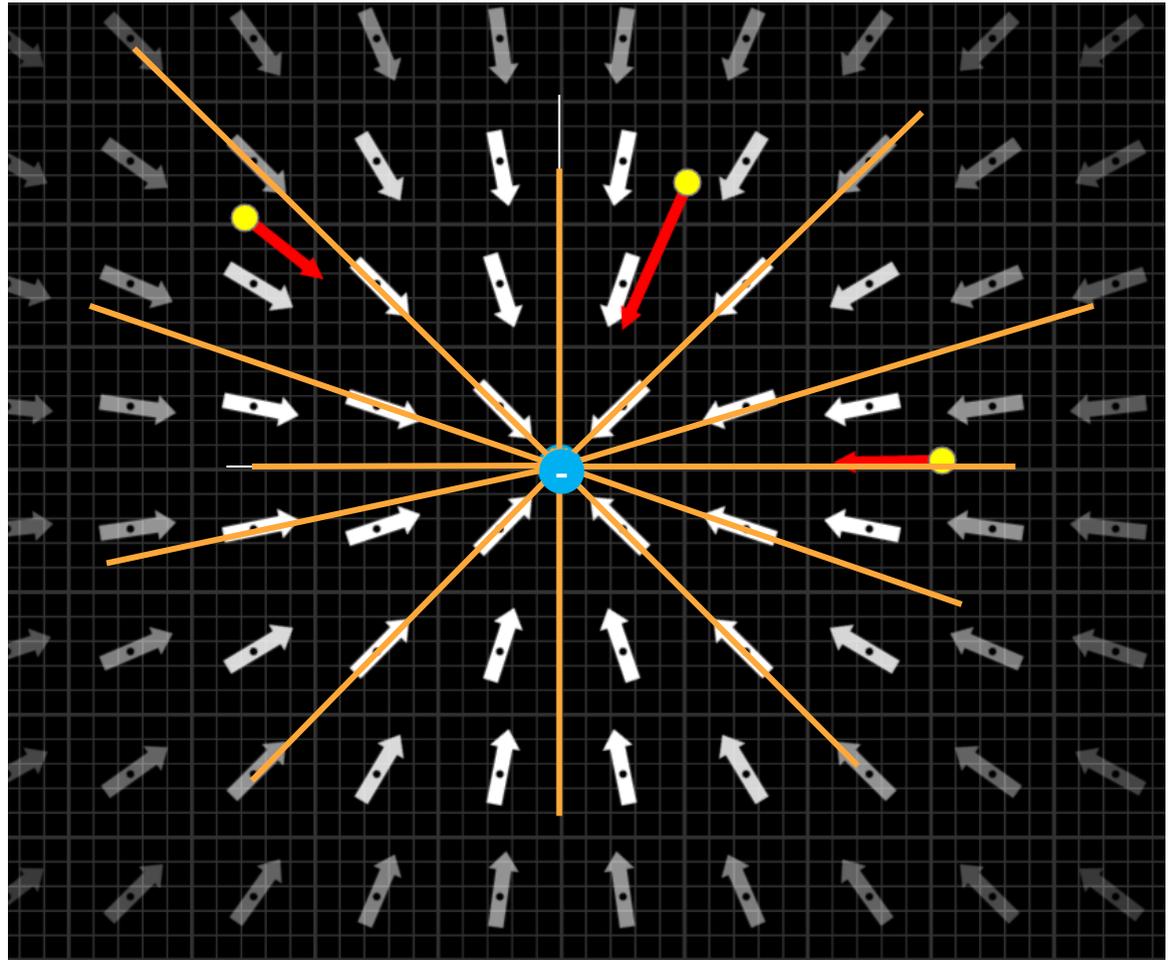
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

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

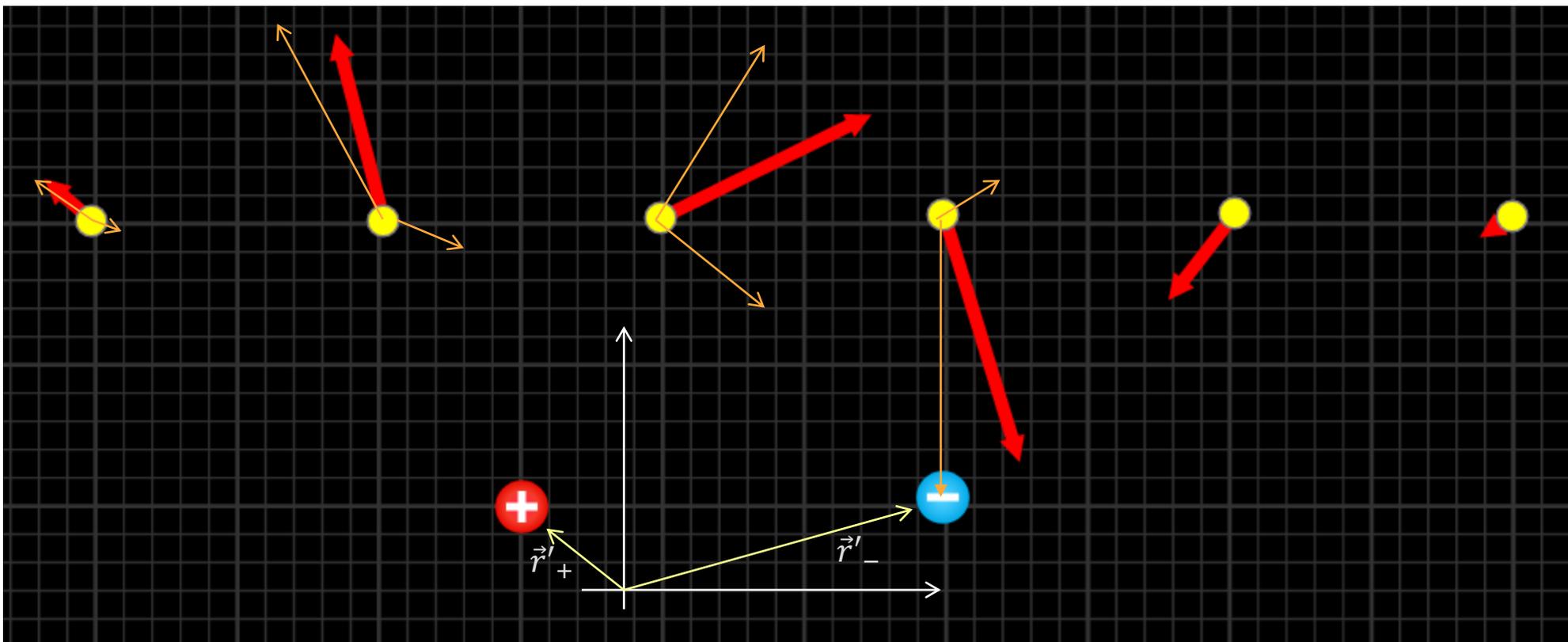
Las **lineas de campo** son líneas que, en cada punto del espacio, son **tangentes** al campo electrico.

Notar:

- Líneas parecen **converger y desaparecer** en la carga fuente negativa.
- Si bien cada línea pierde información de intensidad de E, las zonas de **mayor densidad** de líneas se corresponden con **mayor intensidad** del campo



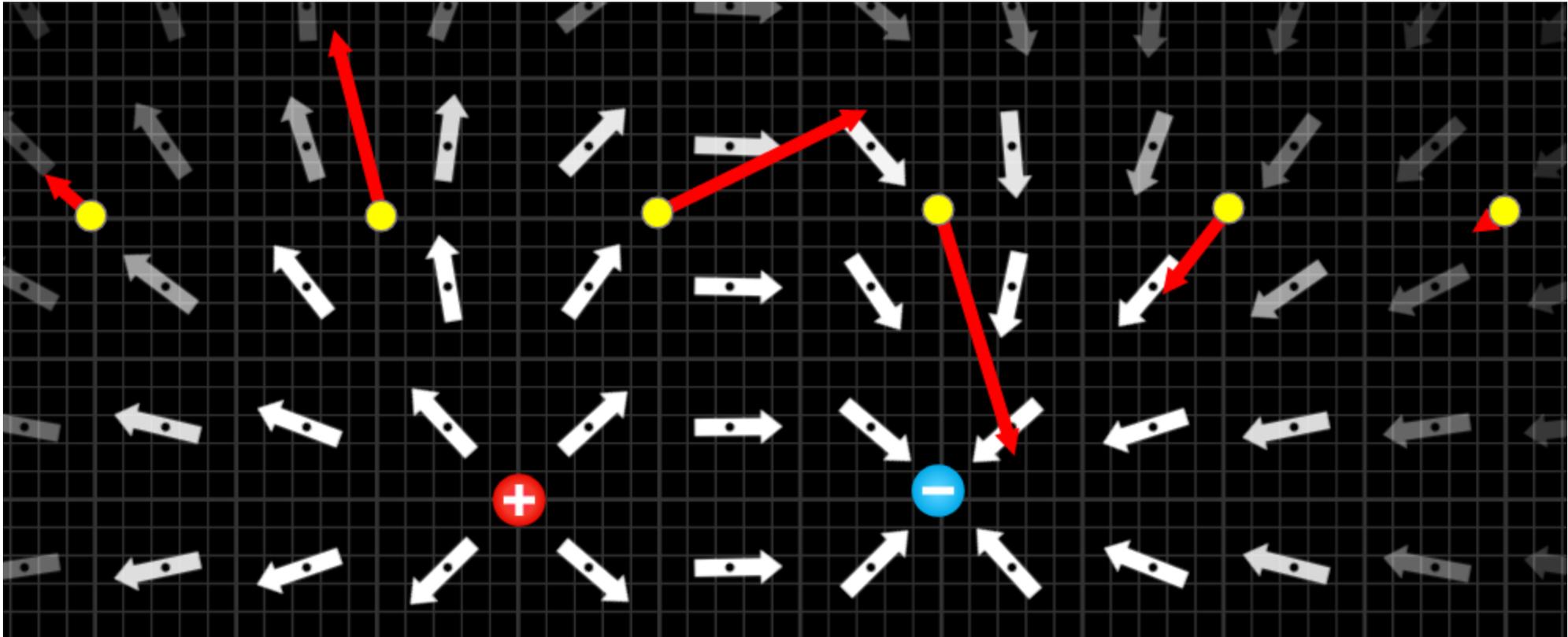
2 cargas, 2



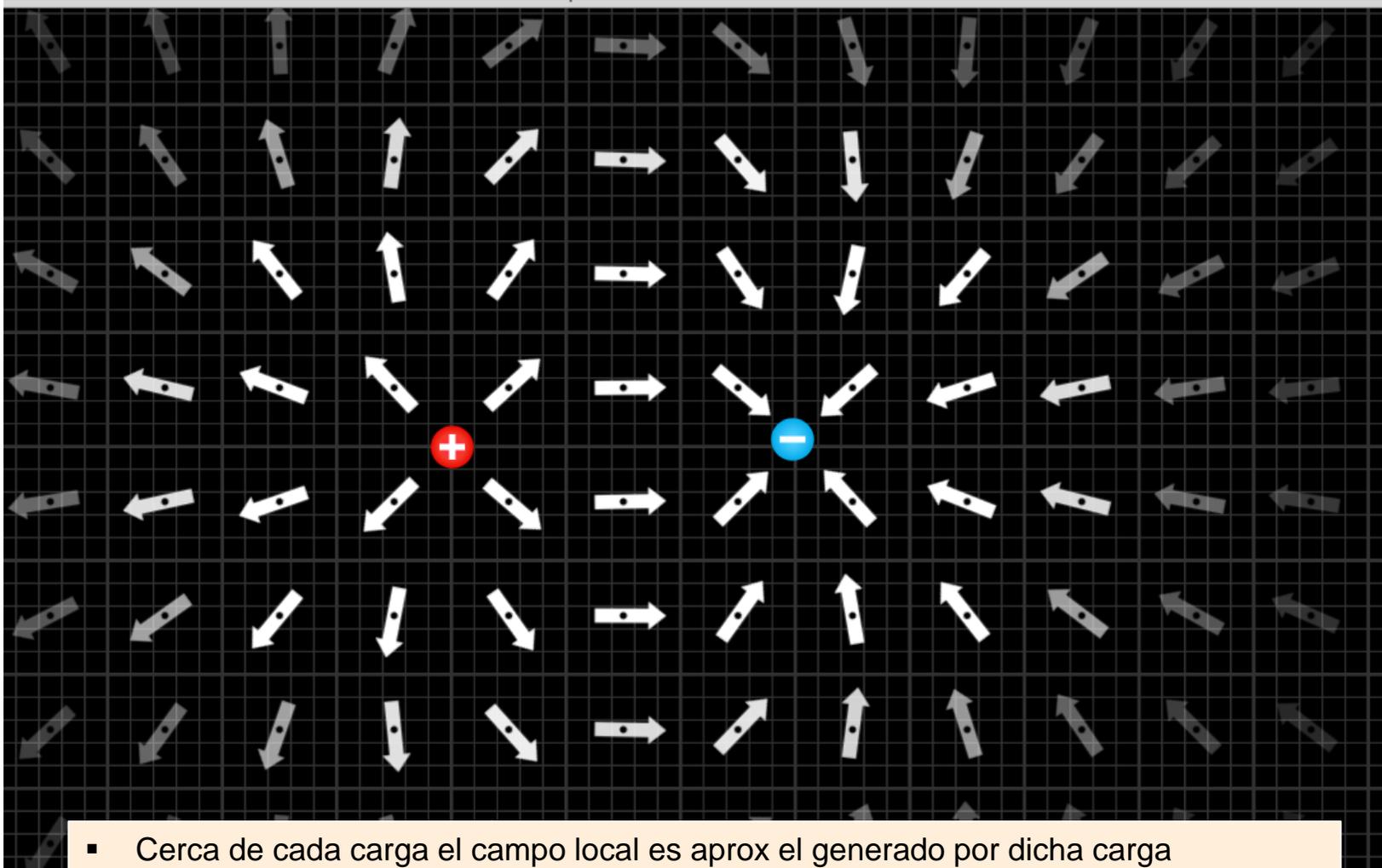
$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

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

2 cargas 2

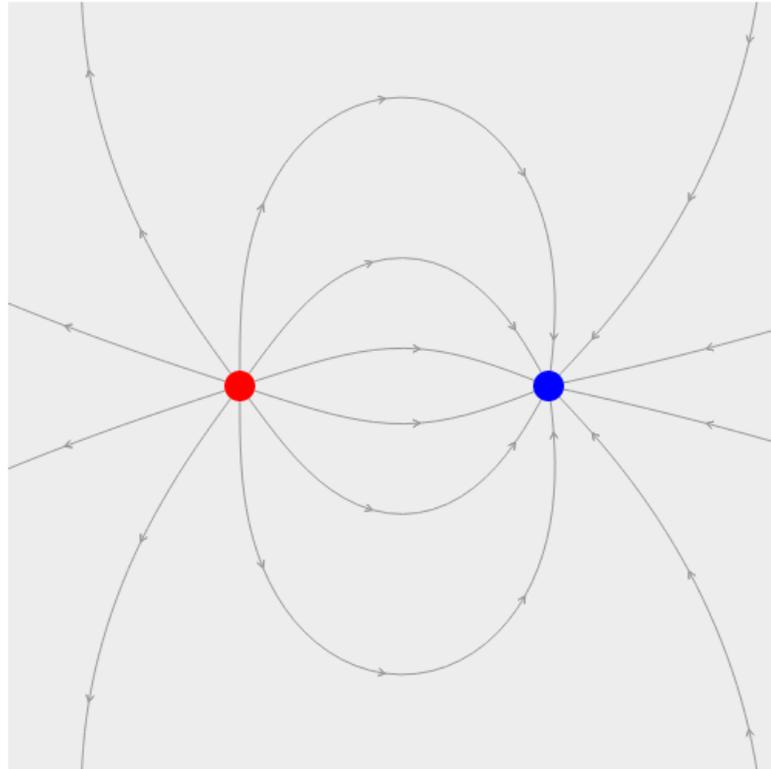


Lineas de campo: 2 cargas



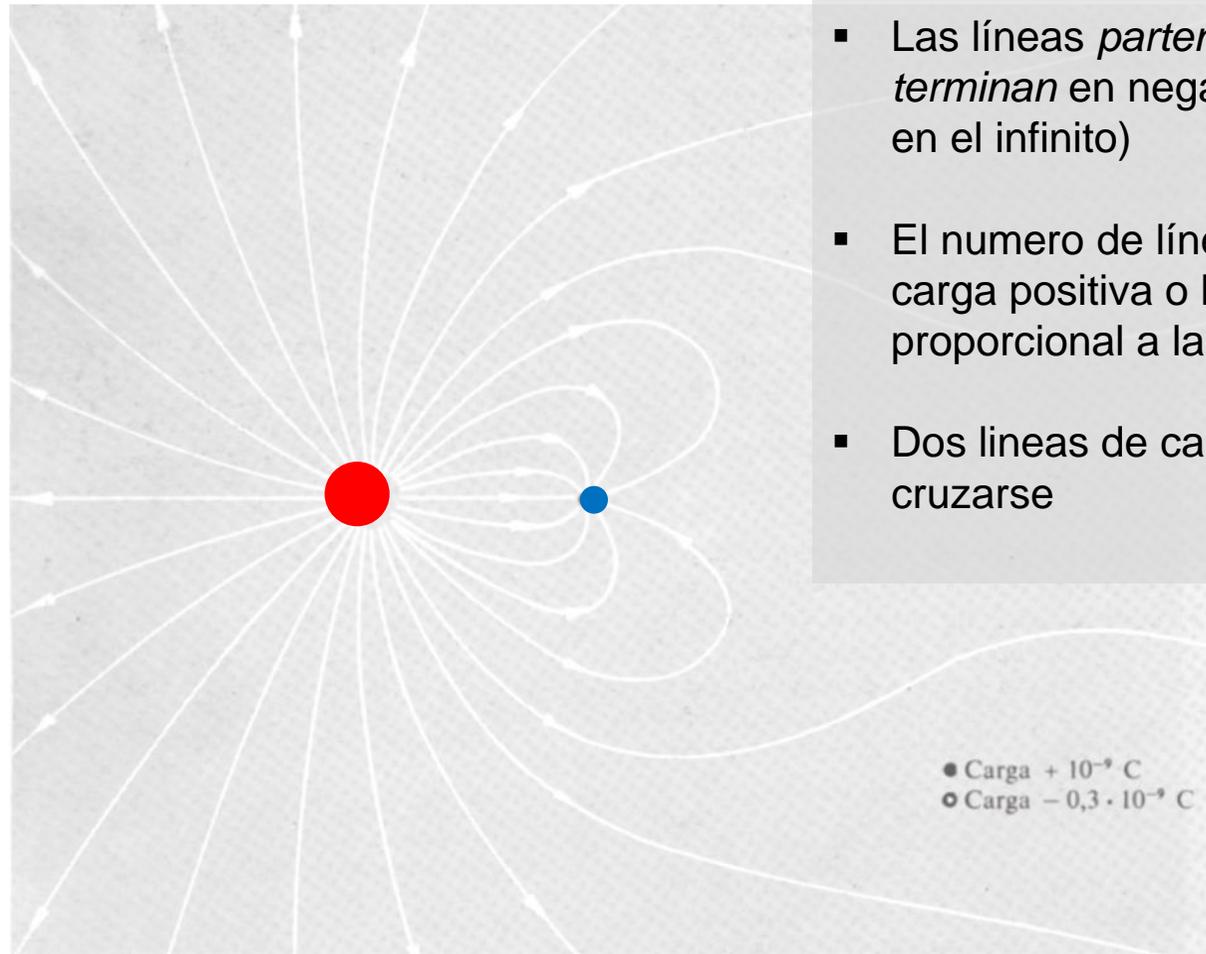
- Cerca de cada carga el campo local es aprox el generado por dicha carga
- Las líneas de campo respetan la simetría de las fuentes

Lineas de campo: 2 cargas



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

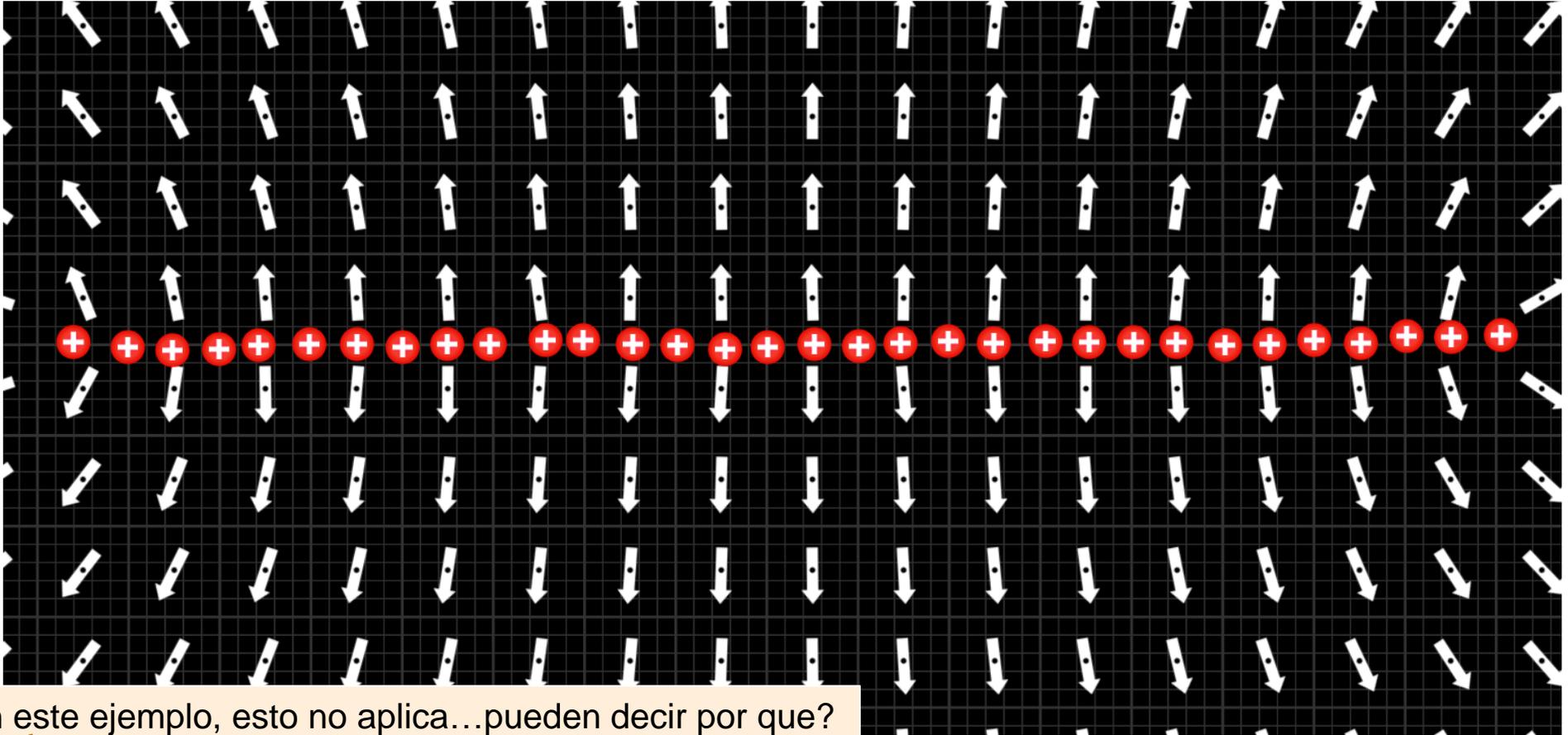
Lineas de campo: 2 cargas



- Las líneas *parten* de cargas positivas y *terminan* en negativas (o eventualmente en el infinito)
- El número de líneas que parten de la carga positiva o llegan a la negativa es proporcional a la magnitud de la carga
- Dos líneas de campo no pueden cruzarse

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

Lineas de campo: 'hilo' cargado



En este ejemplo, esto no aplica...pueden decir por que?

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

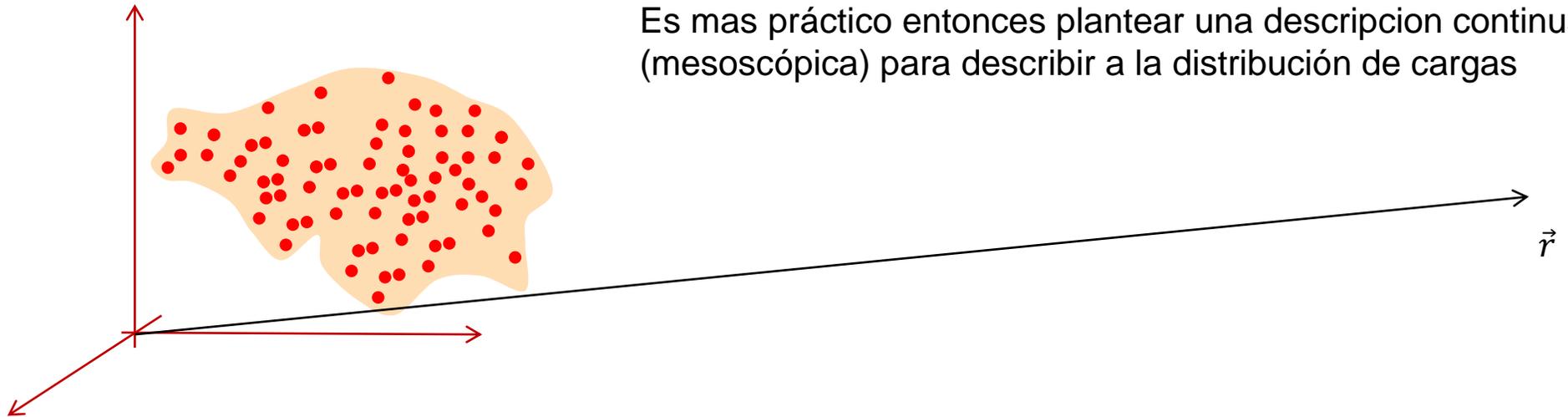
Distribuciones continuas de carga

- 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 $\vec{r} \gg \text{dist típica entre cargas fuentes}$

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

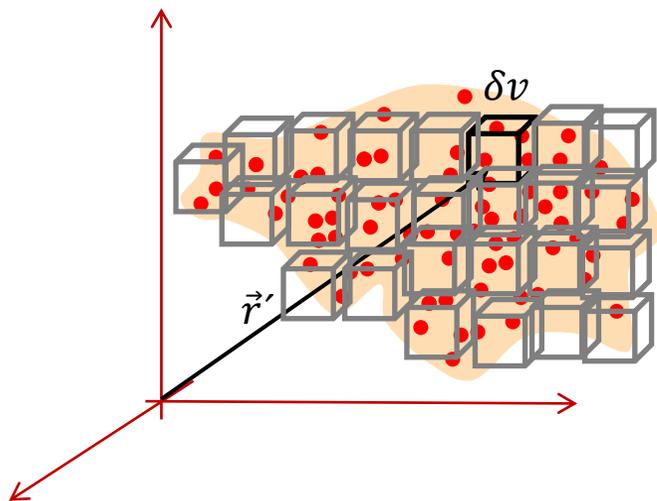


Distribuciones continuas de carga

- 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 $\vec{r} \gg \text{dist típica entre cargas fuentes}$



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

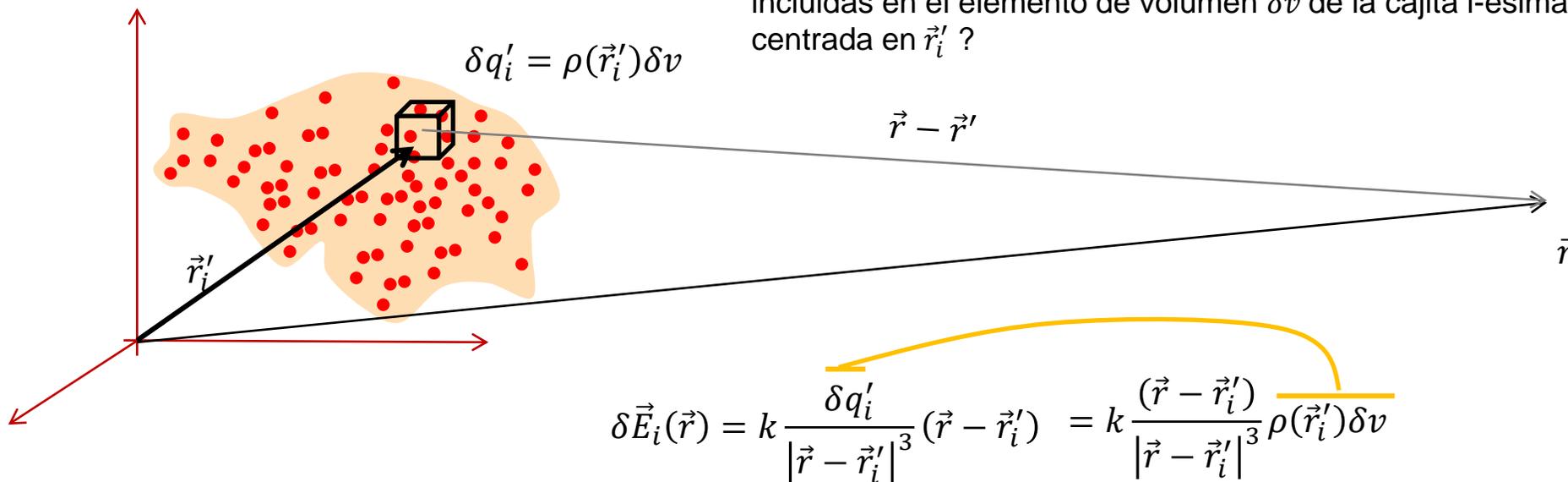
Se consigna cuanta **carga por unidad de volumen** se encuentra dentro de un volumen δv centrado en \vec{r}'

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

Descripción continua de la distribución de fuentes

Campo producido por distribuciones continuas de carga

Cuál es la contribución al campo $\vec{E}(\vec{r})$ de las fuentes incluidas en el elemento de volumen δv de la cajita i-esima centrada en \vec{r}'_i ?

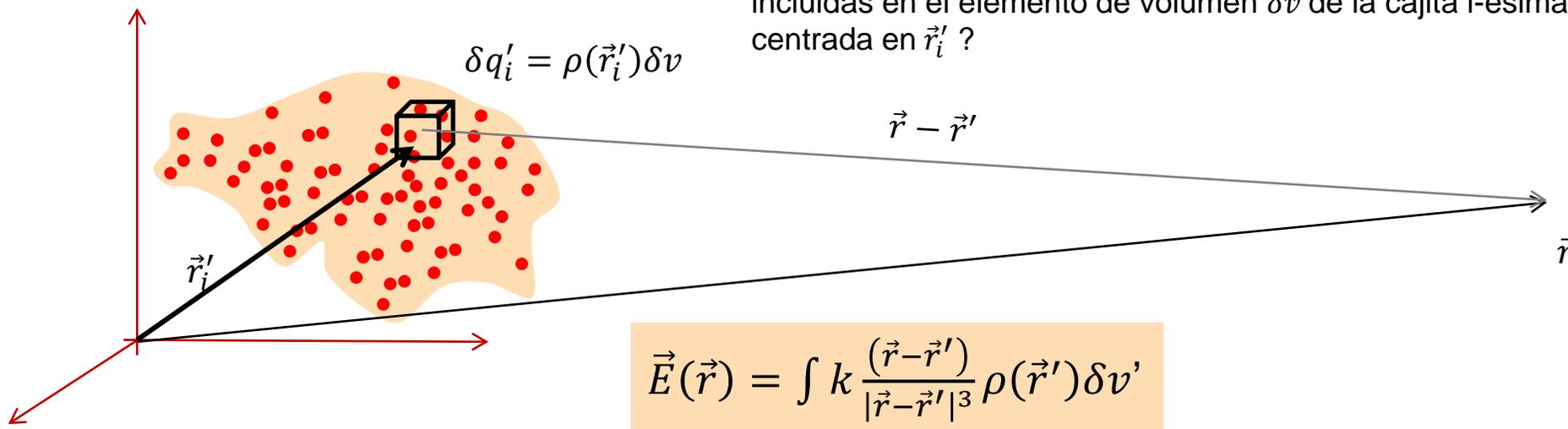


El campo eléctrico **total** resulta de sumar la contribución de las cargas de todas las cajitas

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \delta \vec{E}_i(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N k \frac{(\vec{r} - \vec{r}'_i)}{|\vec{r} - \vec{r}'_i|^3} \rho(\vec{r}'_i) \delta v \quad \xrightarrow[0 < \delta v \ll 1]{N \rightarrow \infty} \quad \vec{E}(\vec{r}) = \int k \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \rho(\vec{r}') \delta v'$$

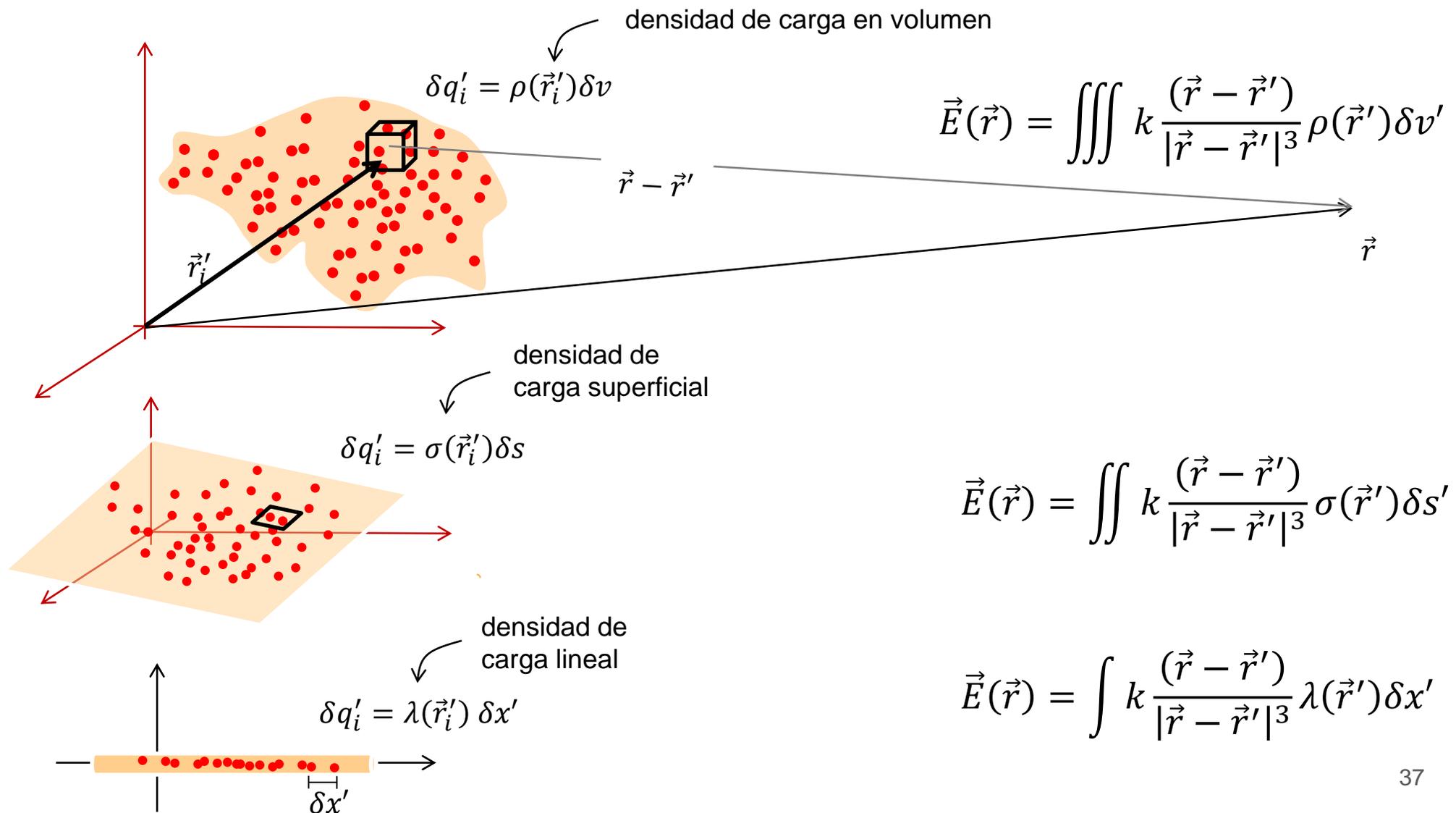
Campo producido por distribuciones continuas de carga

Cuál es la contribución al campo $\vec{E}(\vec{r})$ de las fuentes incluidas en el elemento de volumen δv de la cajita i-esima centrada en \vec{r}'_i ?

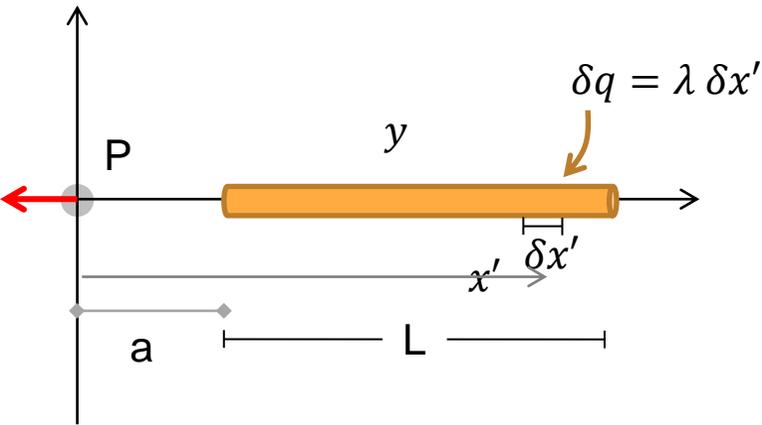


- Cada $\delta v'$ contribuye al campo total
- El resultado es la suma de todas esas contribuciones
- El campo se calcula como una integral en volumen sobre las *variables fuente*
- Toda la información sobre las fuentes está contenida en $\rho(\vec{r}')$

Campo producido por distribuciones continuas de carga



Campo sobre el eje de una distribución de carga **lineal**



$$\delta \vec{E}_i(\vec{r}) = k \frac{\delta q'_i}{|\vec{r} - \vec{r}'_i|^3} (\vec{r} - \vec{r}'_i) = k \frac{(\vec{r} - \vec{r}'_i)}{|\vec{r} - \vec{r}'_i|^3} \lambda(x'_i) \delta x'$$

$$= k \frac{(-x'_i)}{|x'_i|^3} \lambda \delta x' \hat{x} = -k \lambda \frac{\text{sign}(x'_i)}{(x'_i)^2} \delta x' \hat{x}$$

$$\text{sign}(x'_i) = \frac{x'_i}{|x'_i|}$$

$$\vec{r} = 0$$

$$\vec{r}'_i = x'_i \hat{x}$$

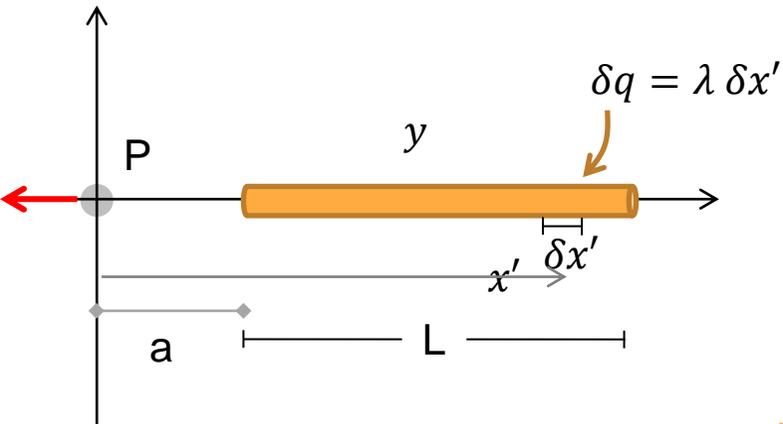
$$\lambda(x'_i) = \lambda$$

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

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

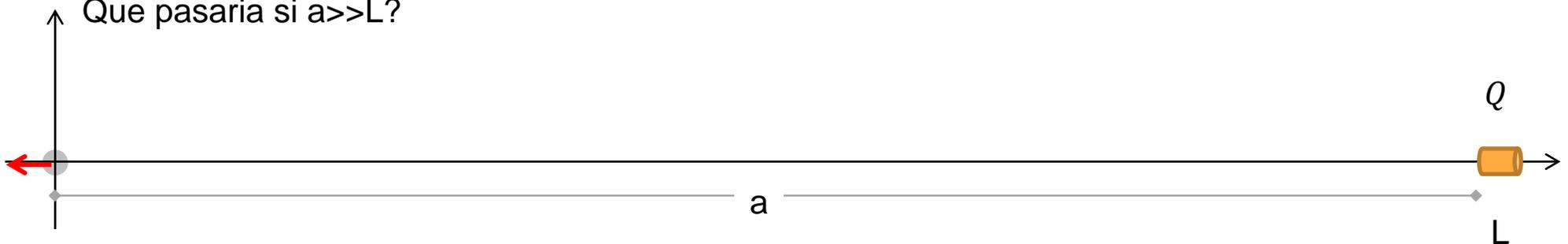
$$\vec{E}_P = -k \frac{\lambda L}{(a+L)a} \hat{x}$$

Campo sobre el eje de una distribución de carga **lineal**



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

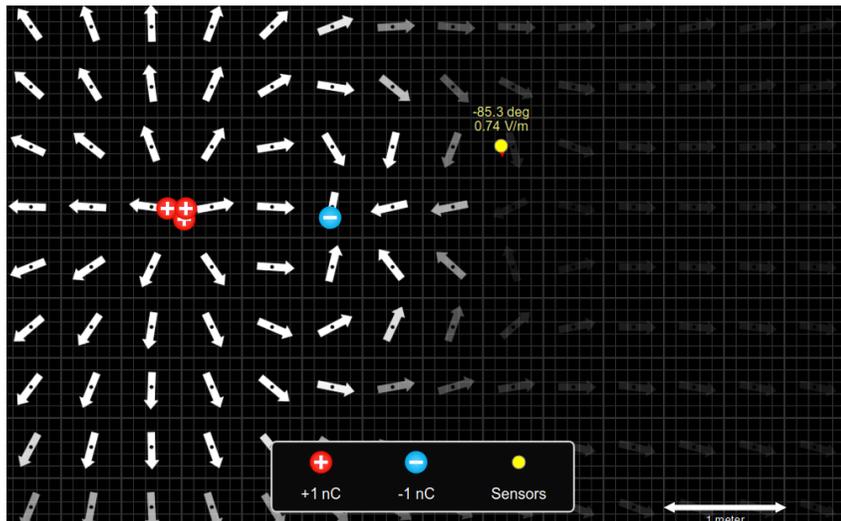
Que pasaria si $a \gg L$?



$$\vec{E}_P = -k \frac{Q}{(a+L)a} \hat{x} = -k \frac{Q}{a^2 \left(1 + \frac{L}{a}\right)} \hat{x} \sim -k \frac{Q}{a^2} \hat{x}$$

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>

