

Electromagnetismo y Optica

Ariel Chernomoretz

Organizacion de la materia

- **Teoricas:** Zoom en el horario de cursada (Mi-Vi 17-19). Formato pptx. Videos de la clase subidos a la nube.
- **Practicas:** Zoom en el horario de cursada (Mi-Vi 19-21). 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/eyoba2020c2>]



The screenshot shows the website for the Department of Physics at the University of Buenos Aires, specifically for the course 'Electromagnetismo y Óptica 2020'. The header features a large stylized 'f' logo and the text 'departamento de Física universidad de buenos aires - exactas Juan José Giambiagi'. A navigation bar includes links for 'Principal', 'Programa', 'Cronograma', 'Gulas', 'Laboratorio', 'Material Adicional', and 'Parciales'. The main content area displays a welcome message 'Bienvenid@s!' dated July 11, 2012, and a subscription form with fields for 'Your email', 'Subscribe', and 'Unsubscribe', along with a search bar. The footer shows 'ENTRADAS RECIENTES' with the current page listed as 'Bienvenid@s!'.

departamento de Física
universidad de buenos aires - exactas
Juan José Giambiagi

Principal Programa Cronograma Gulas Laboratorio Material Adicional Parciales

Bienvenid@s!

Posted on julio 11, 2012

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

SUSCRIBITE
Your email:
Enter email address...
Subscribe
Unsubscribe
Search
ENTRADAS RECIENTES
■ Bienvenid@s!

Recursos

- Página de la materia: [<https://materias.df.uba.ar/eyoba2020c2>]
 - 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
- Campus virtual: foros

01. Coulomb / Campo Eléctrico

El comienzo...

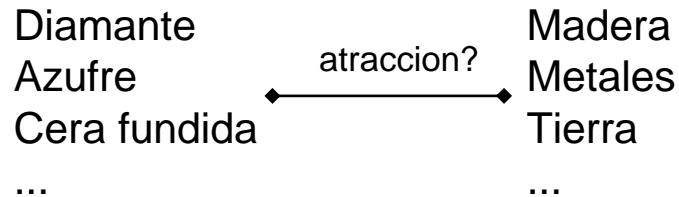
- A lo largo de la historia los fenómenos eléctricos y magnéticos aparecieron como curiosidades
- Tales de Mileto (600 A.C.):
 - ◆ Piedra *imán* (magnetita. isla de Magnesia) atraía limaduras de hierro.
 - ◆ *Ambar* (savia de árbol petrificada) atraía briznas de paja **cuando era frotada** con lana



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:

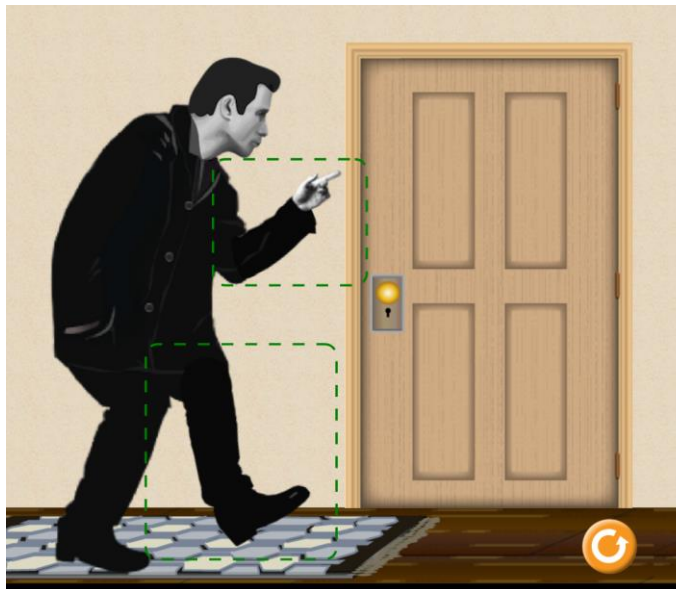
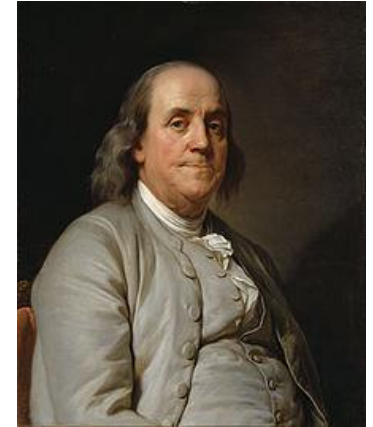
- Se dió cuenta que 2 extremos de la piedra imán era diferentes: los llamo **polo Norte** y **polo Sur**. Polos iguales se repelían y polos distintos se atraían
- Para explicar el funcionamiento de la brújula, propuso que la tierra se comportaba como iman (!)

El comienzo...

- Benjamin Franklin (1747)

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

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

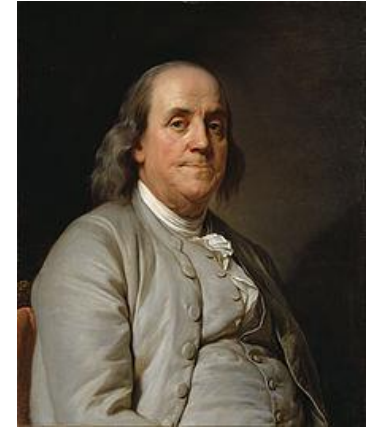


El comienzo...

- Benjamin Franklin (1747)

La electrificación por frotamiento se podía entender si se piensa que *cuerpos vítreos* reciben **fluido eléctrico** 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

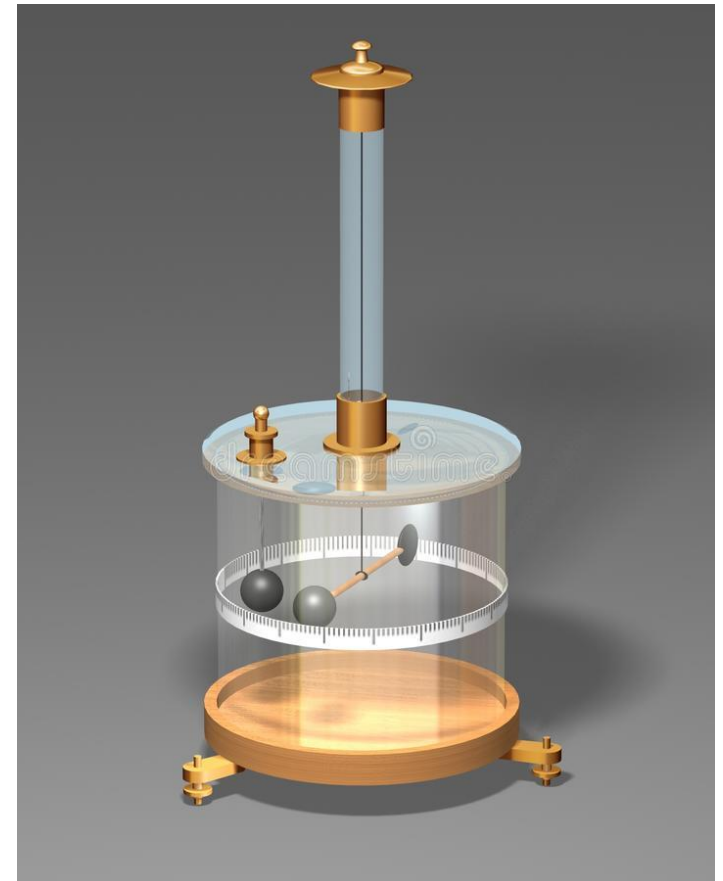
- La aparición de fuerzas e interacciones electrostáticas surgen cuando hay cuerpos **cargados** (i.e. desbalanceados en algún sentido en relación a una propiedad física *nueva* - diferente a la *masa* por ejemplo- llamada *carga eléctrica*)
- Cuerpos macroscópicos poseen un balance casi perfecto de 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**:



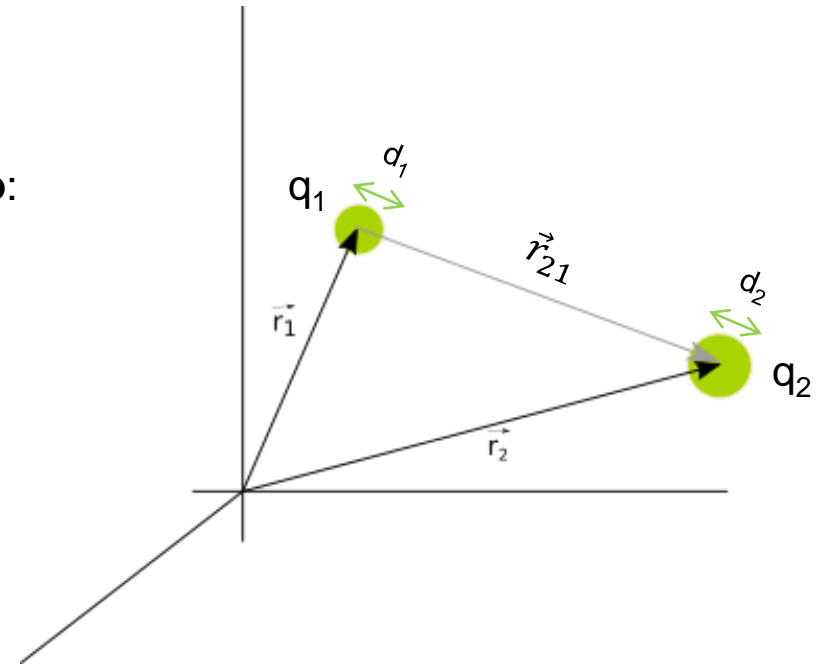
Ley de Coulomb

- 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

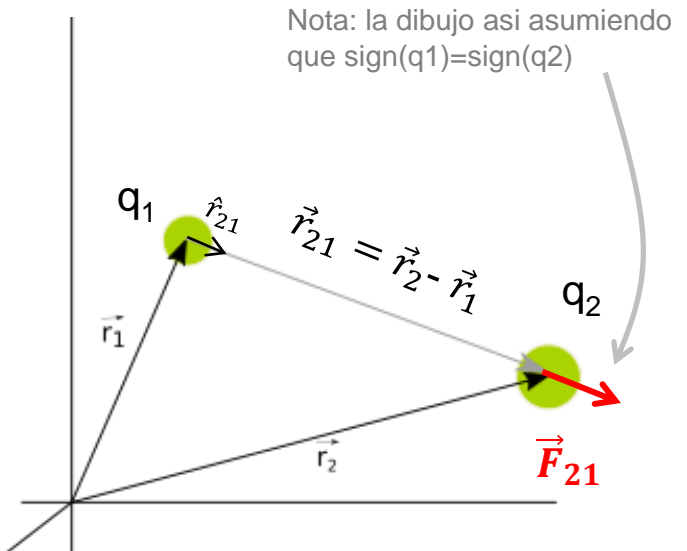
- Charles-Augustin de Coulomb (1785)

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

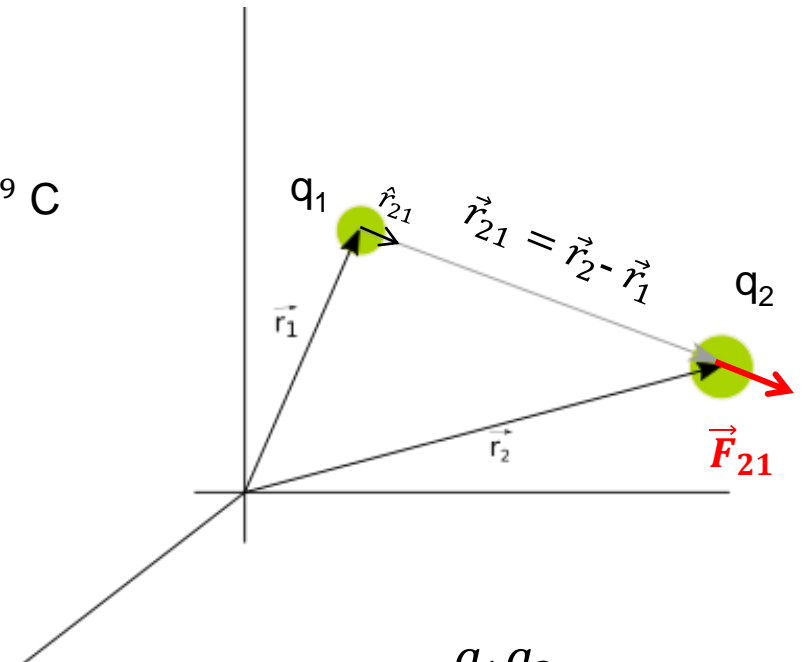
Que intensidad tiene la repulsión de protones dentro del núcleo atómico?

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

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

Que aceleración produce una fuerza de 230N?

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



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

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

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

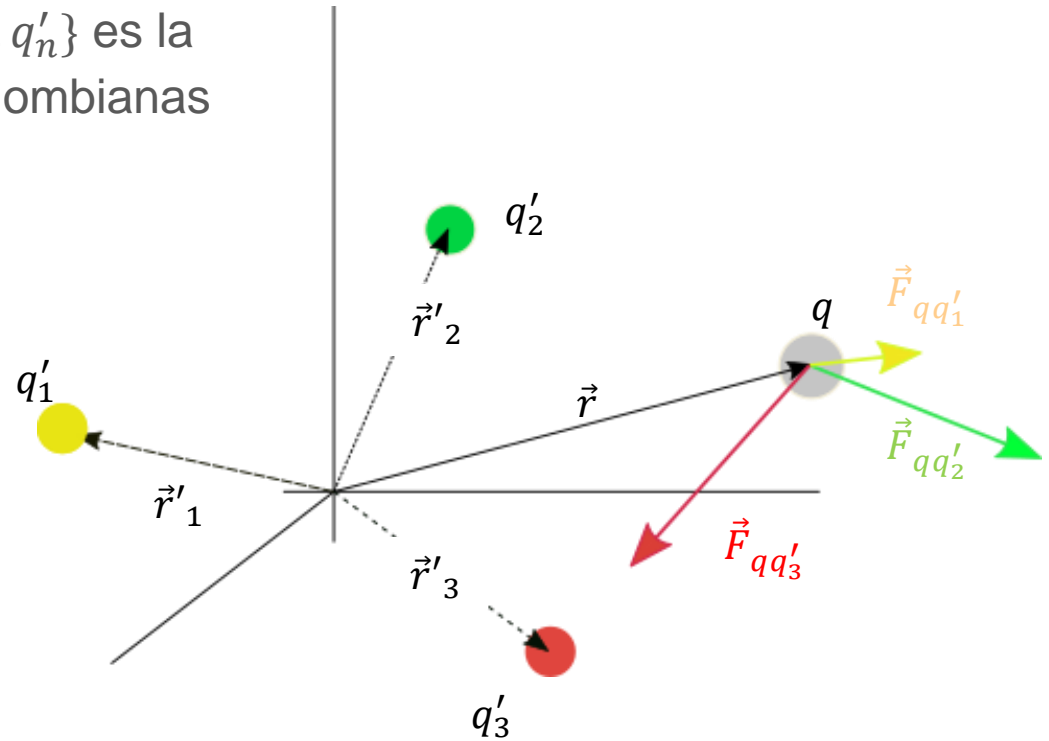
Principio de superposición

- 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

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

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

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



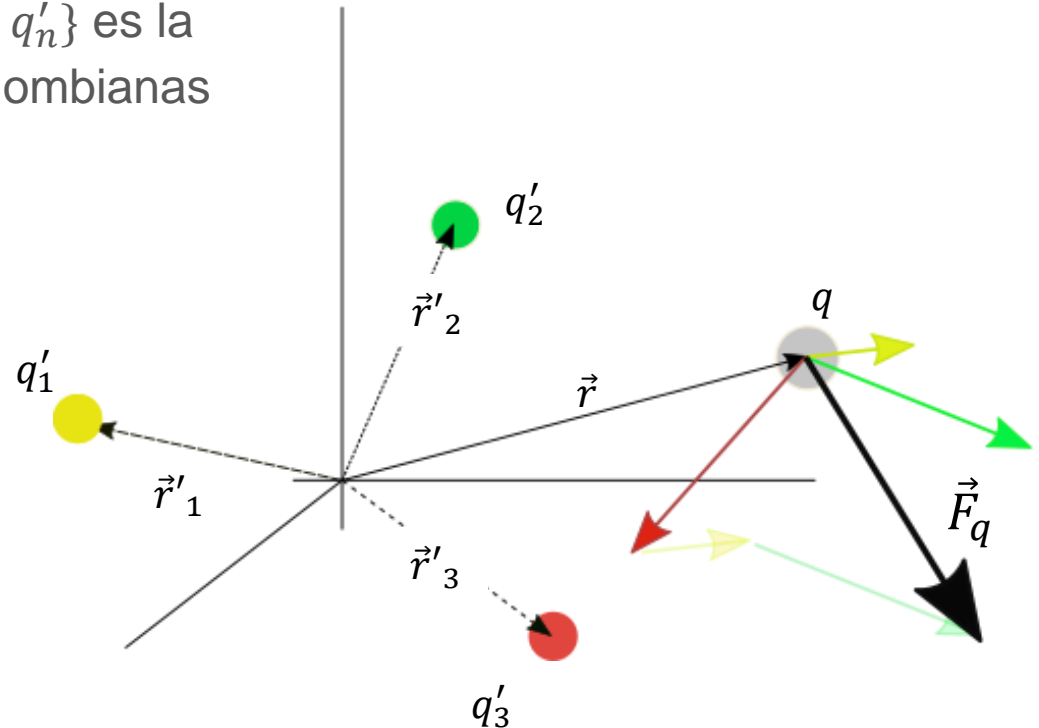
Principio de superposición

- La fuerza ejercida sobre una carga q por un **conjunto** de cargas *fuentes* $\{q'_1, q'_2, \dots, q'_n\}$ 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

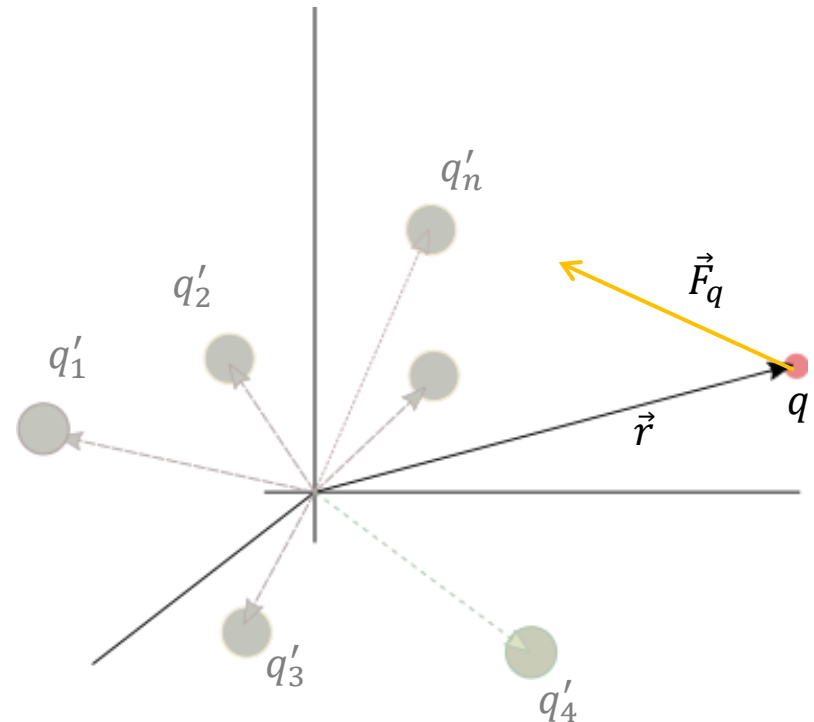
$$\vec{F}_q = \sum_{i=1}^n k \frac{qq'_i}{|\vec{r} - \vec{r}_{q'_i}|^3} (\vec{r} - \vec{r}_{q'_i})$$

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

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

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} .

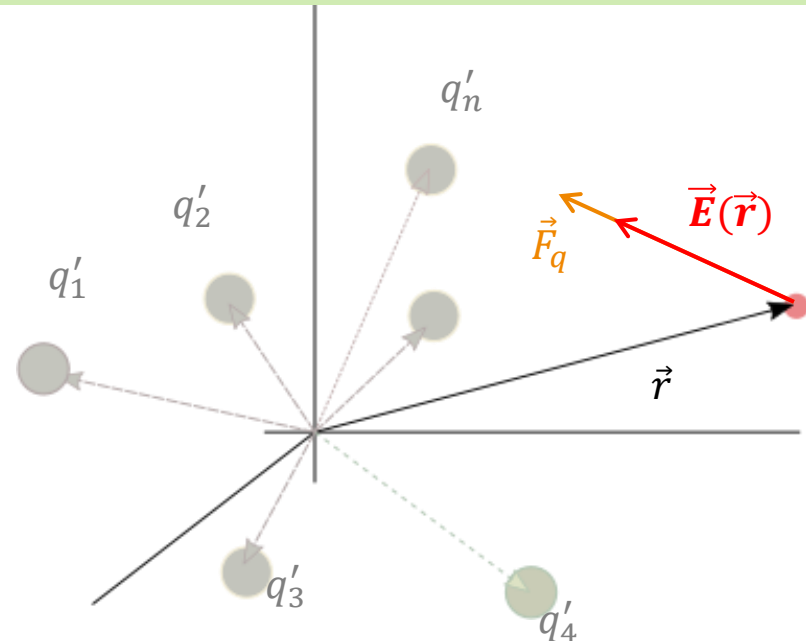
$$\vec{F}_q = q \cdot \vec{E}(\vec{r}) \longrightarrow \vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{q} \vec{F}_q$$

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:

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

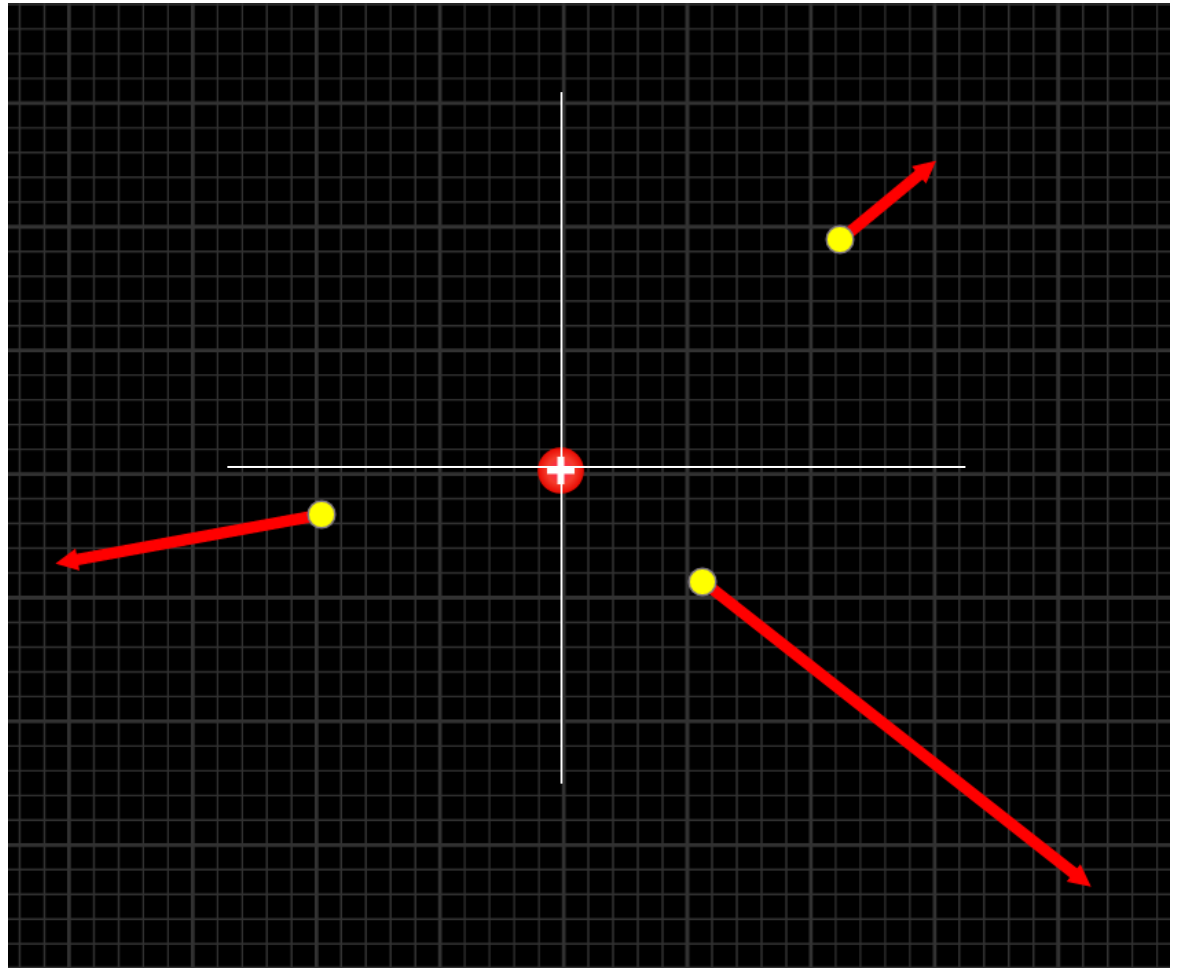
Campo E de una carga puntual

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

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

Como la carga esta en el origen:

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



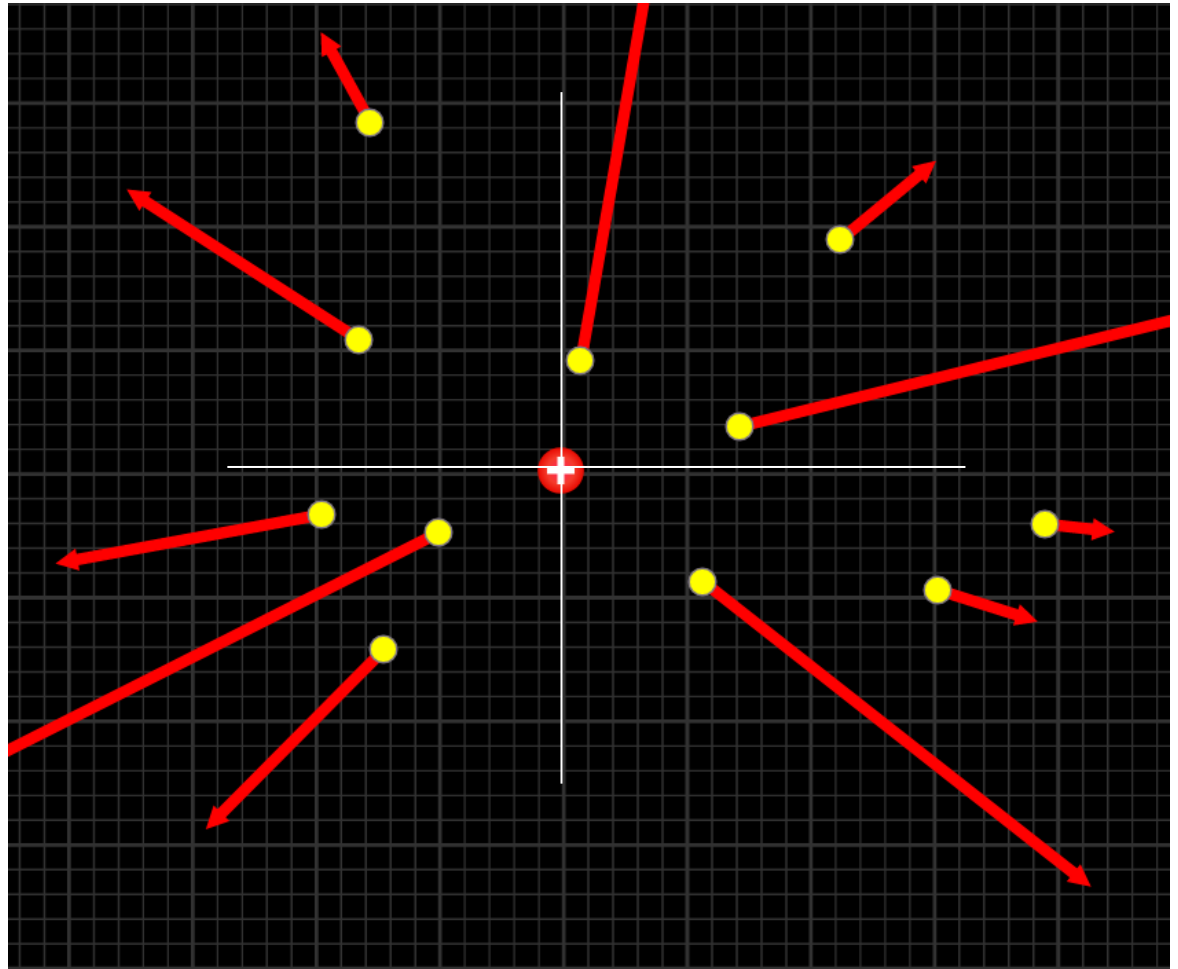
Campo E de una carga puntual

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

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

Como la carga esta en el origen:

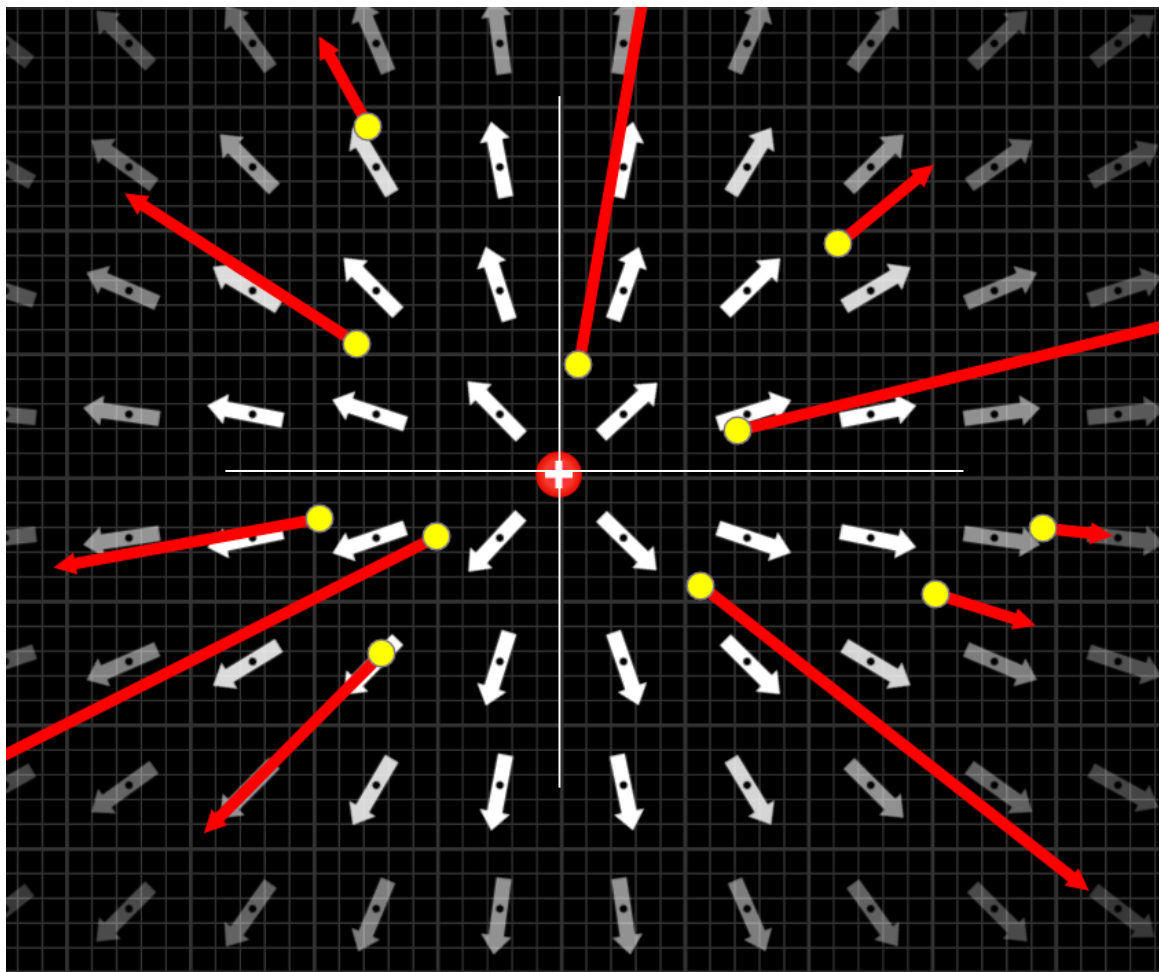
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$



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?

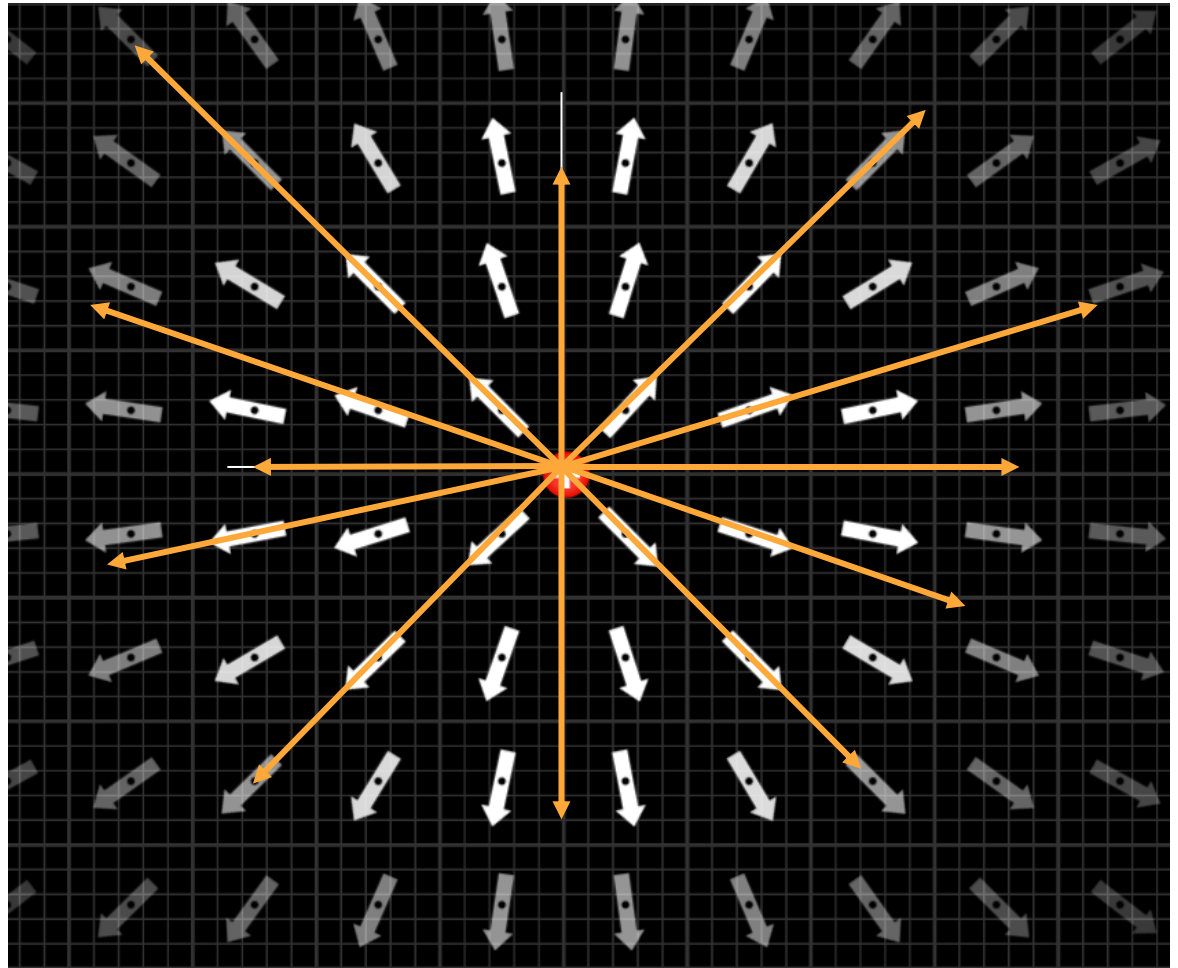


Lineas de campo: carga puntual **positiva** en el origen

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

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

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



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

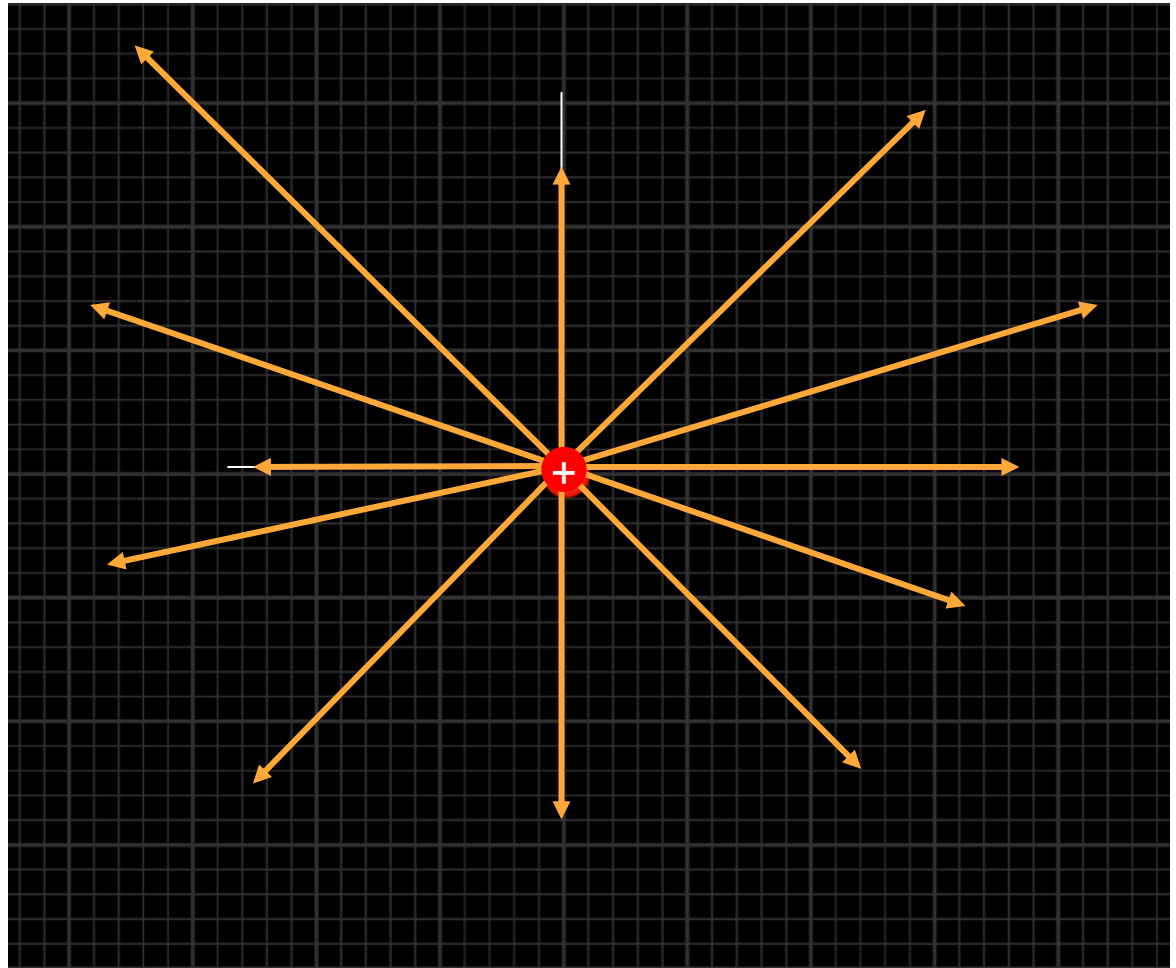
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

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

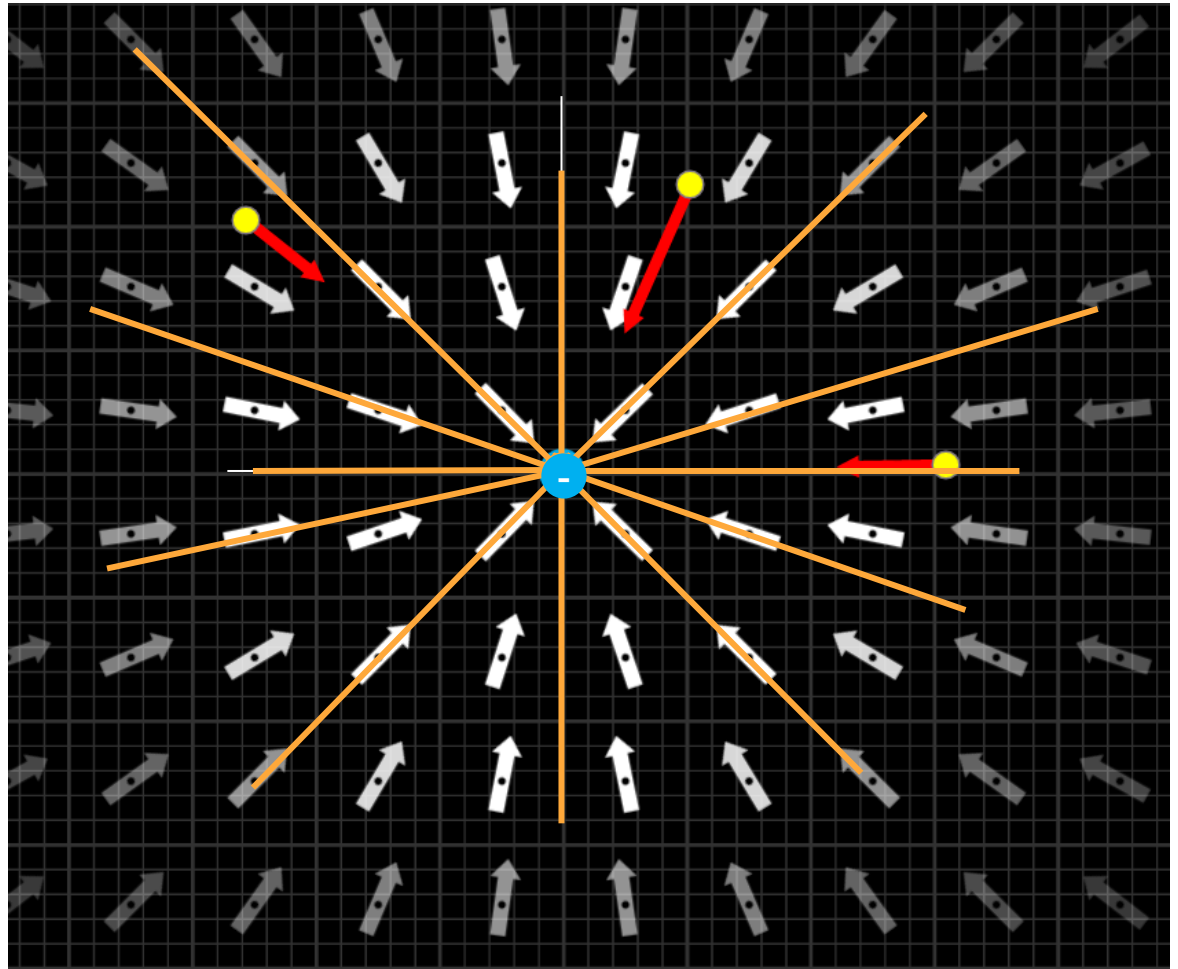
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q'}{|\vec{r}|^3} \vec{r} = k \frac{q'}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

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

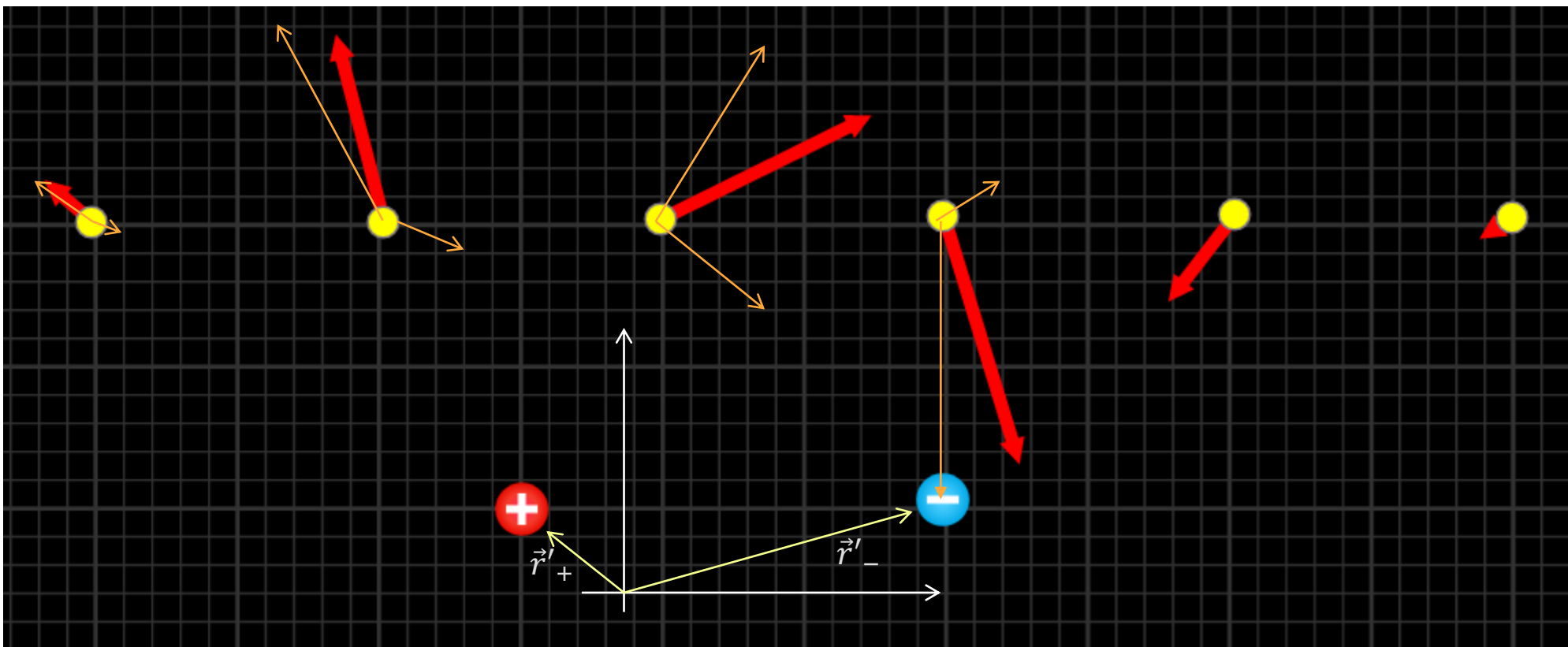
Las **lineas de campo** son líneas que, en cada punto del espacio, son **tangentes** al campo electrico.

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



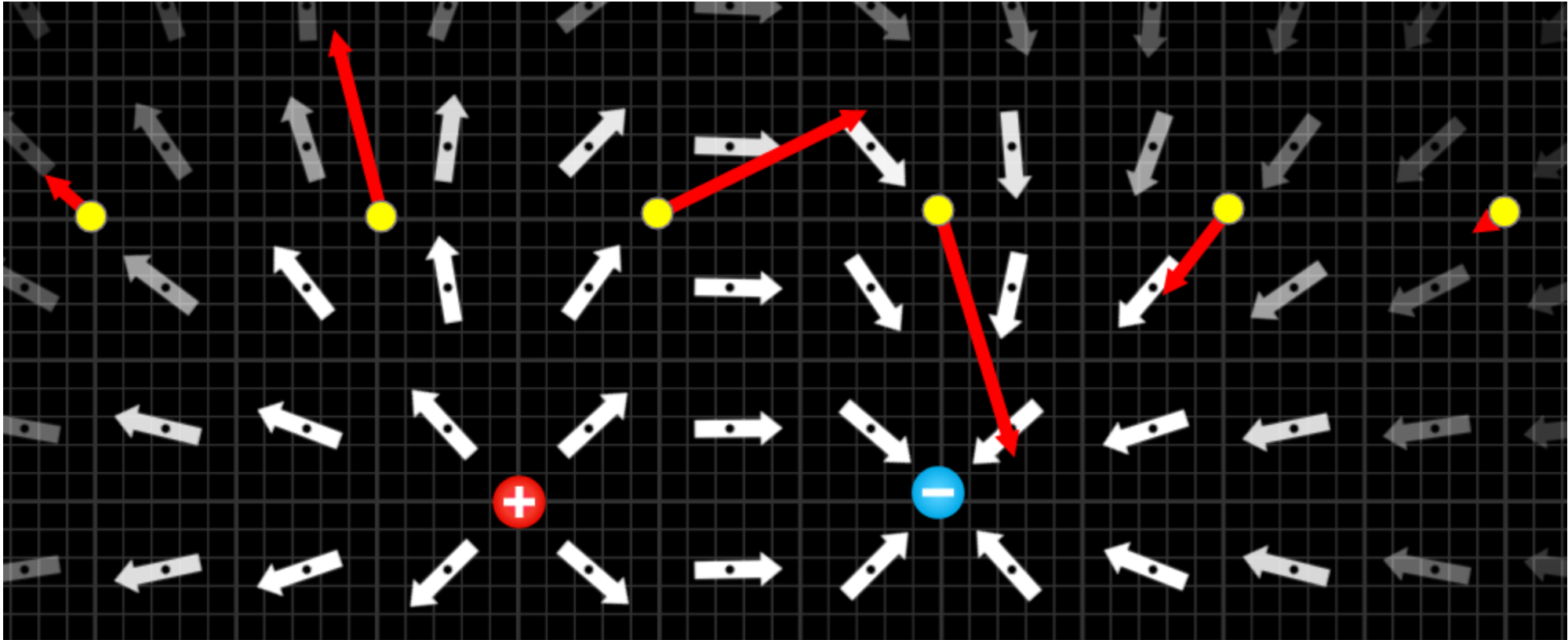
2 cargas, 2



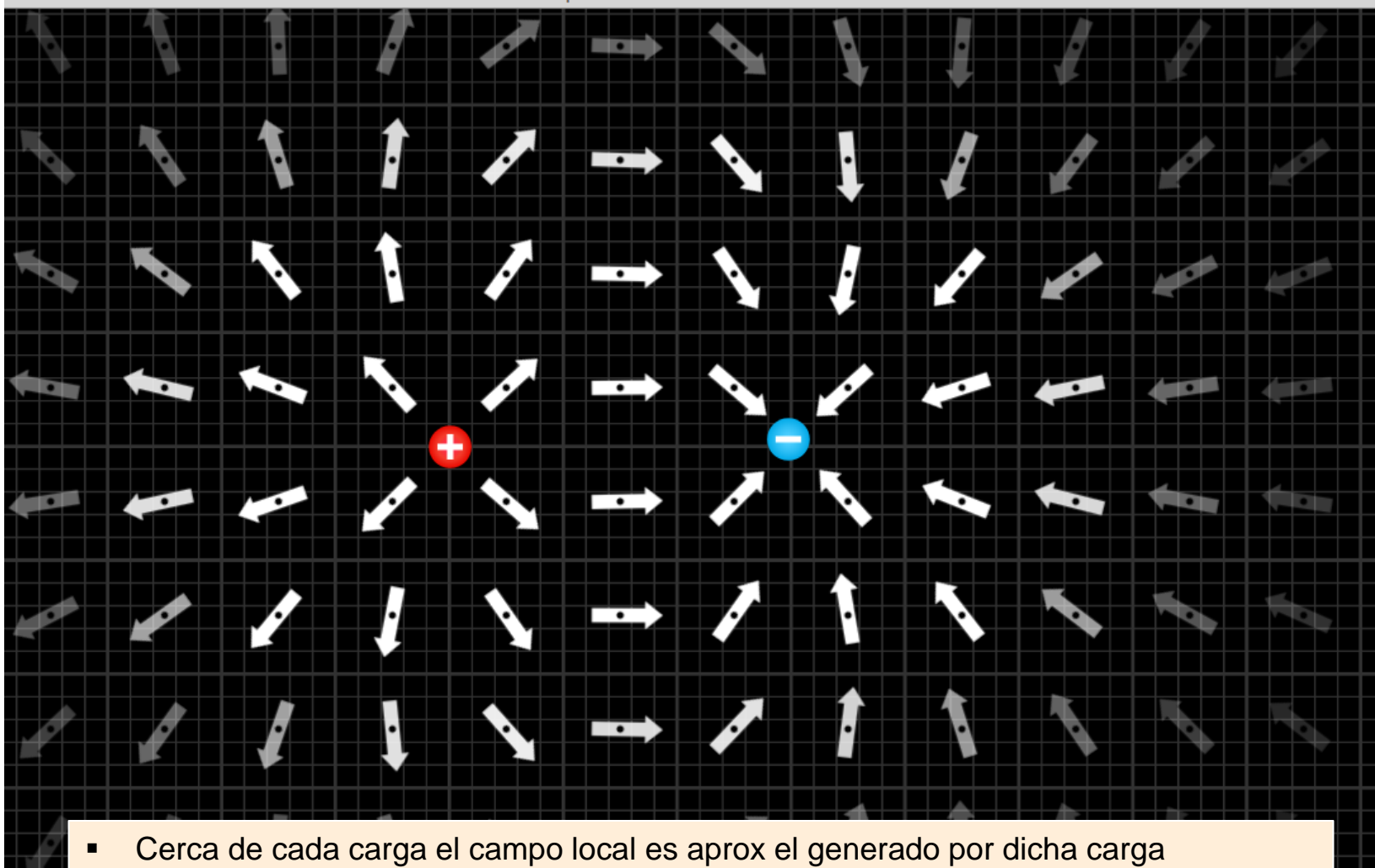
$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

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

2 cargas 2

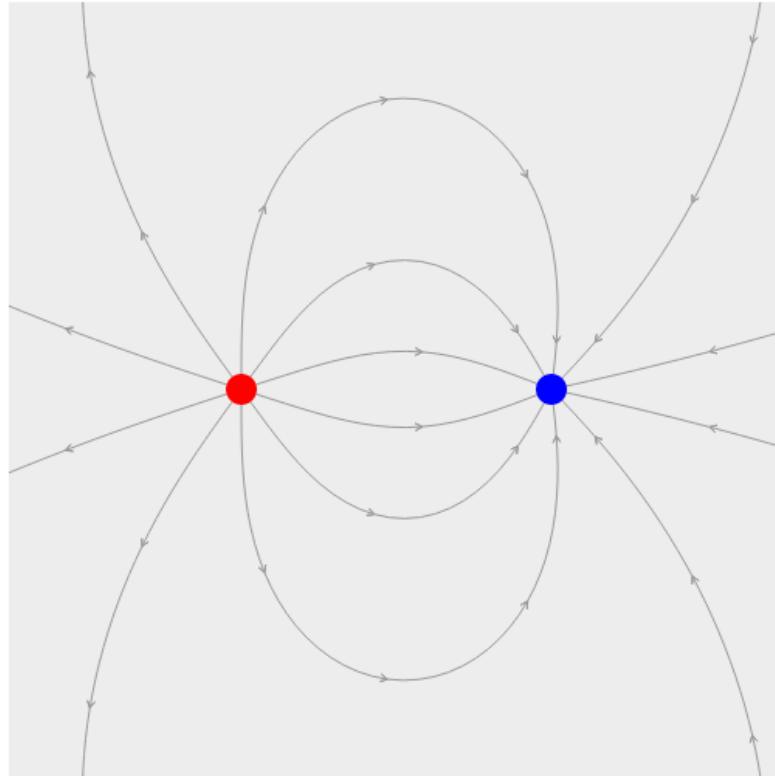


Lineas de campo: 2 cargas



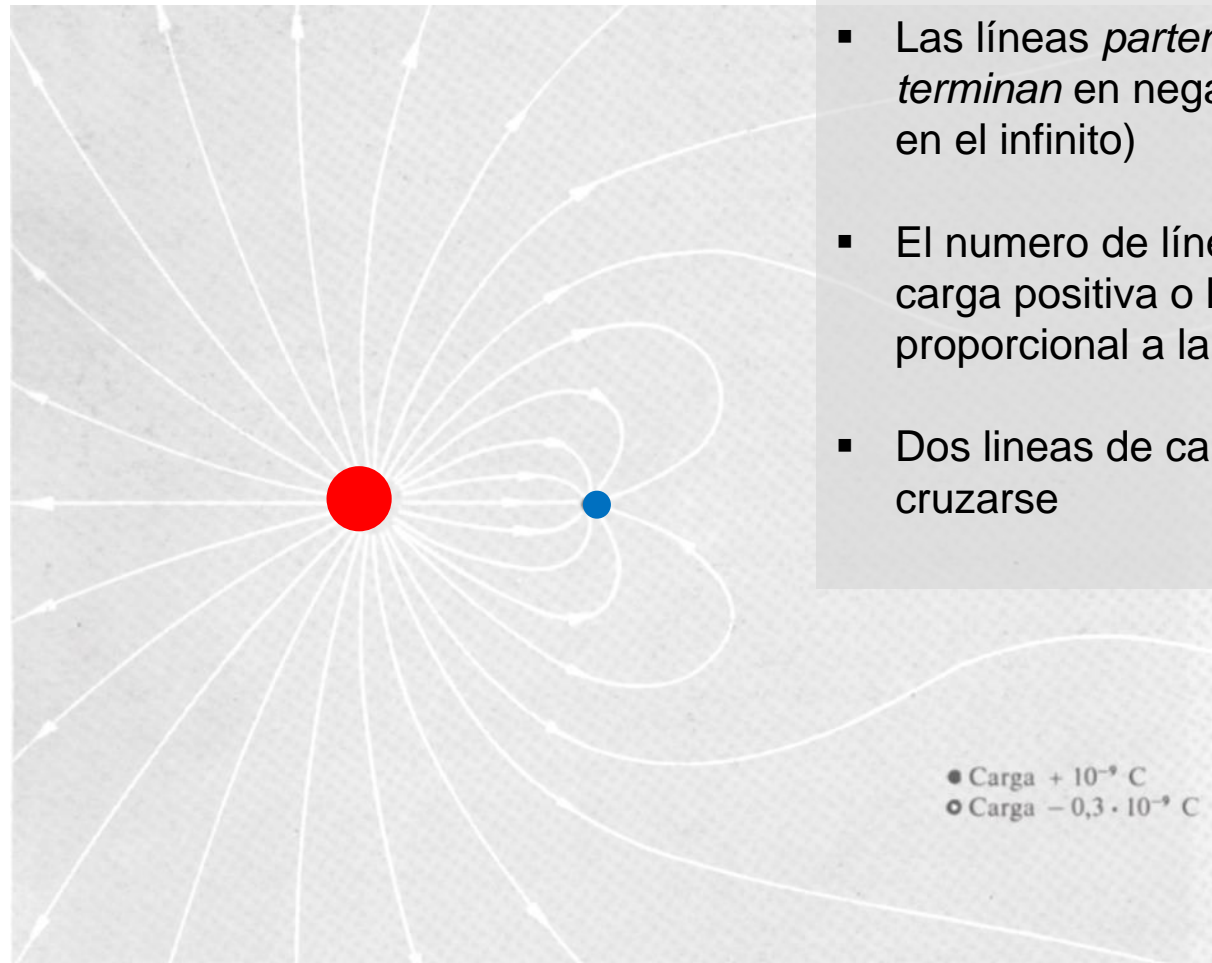
- Cerca de cada carga el campo local es aprox el generado por dicha carga
- Las líneas de campo respetan la simetría de las fuentes

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

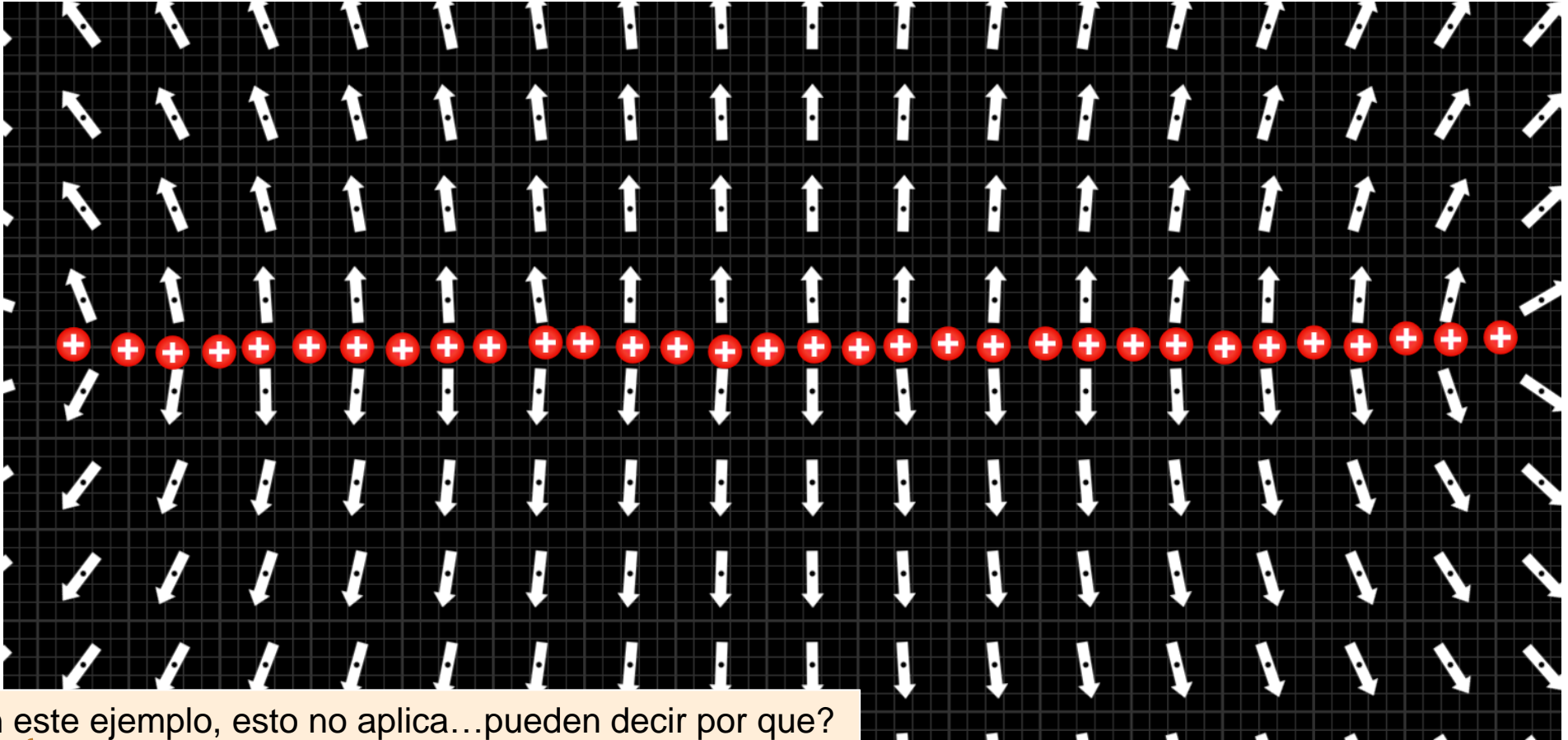
Lineas de campo: 2 cargas



- 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?

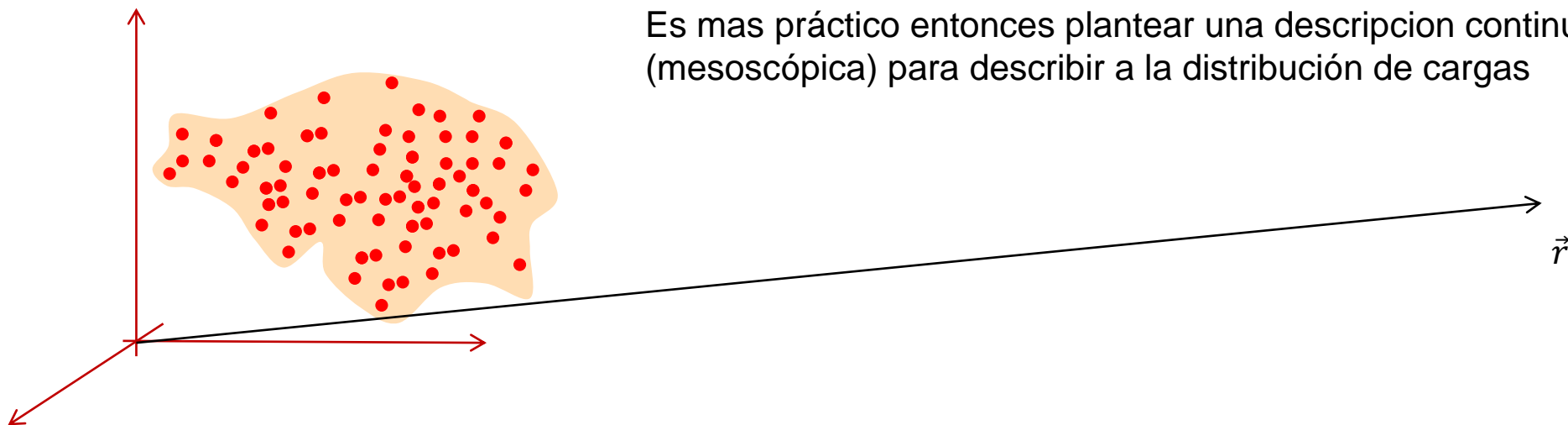
- Cerca de cada carga el campo local es aprox el generado por dicha carga
- Las lineas de campo respetan la simetria de las fuentes

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

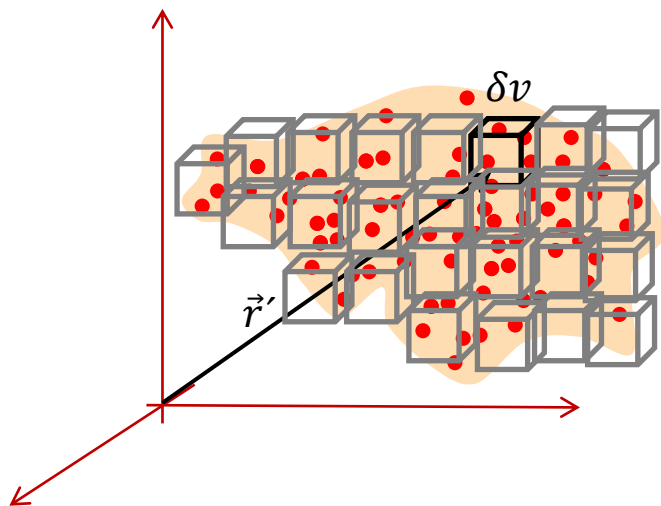


Distribuciones continuas de carga

- 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

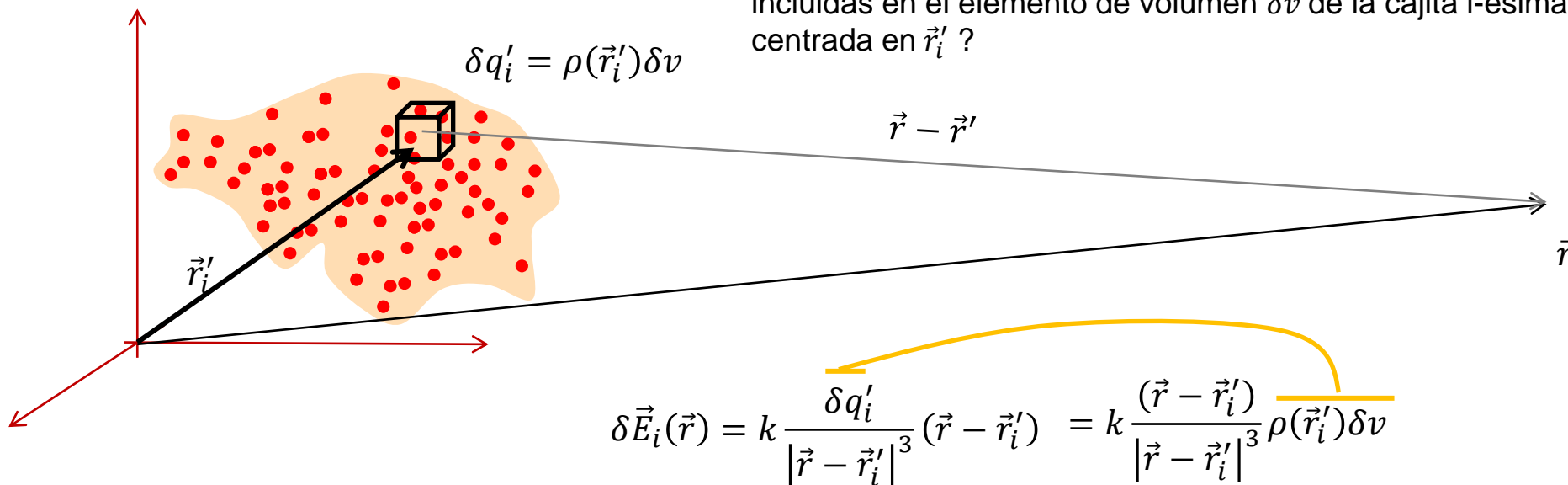
Se consigna cuanta **carga por unidad de volumen** se encuentra dentro de un volumen δv centrado en \vec{r}'

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

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 ?

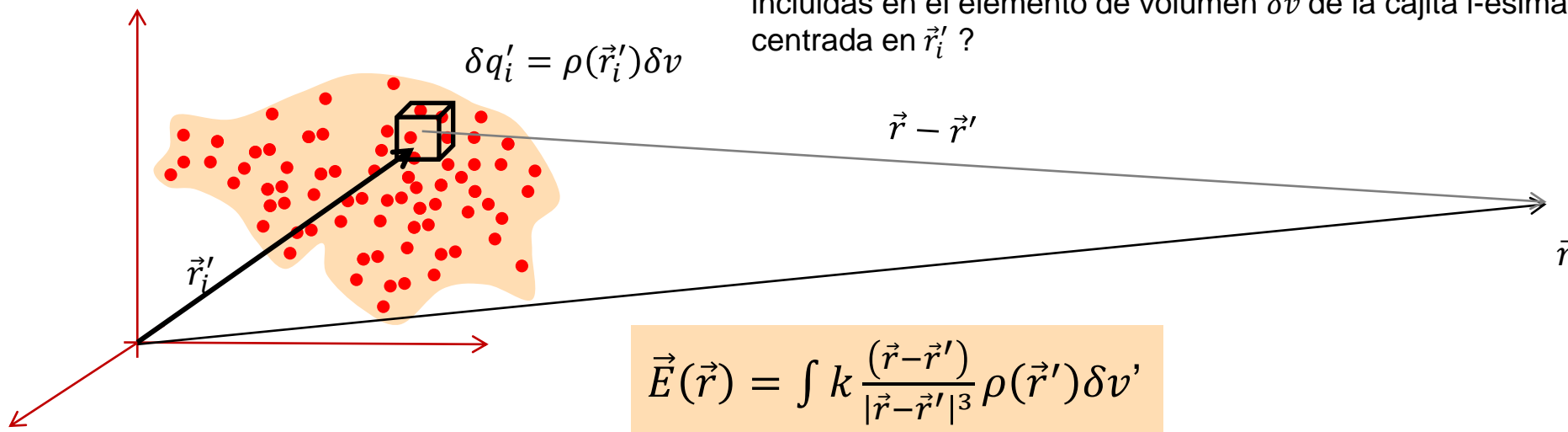


El campo eléctrico **total** resulta de sumar la contribución de las cargas de todas las cajitas

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

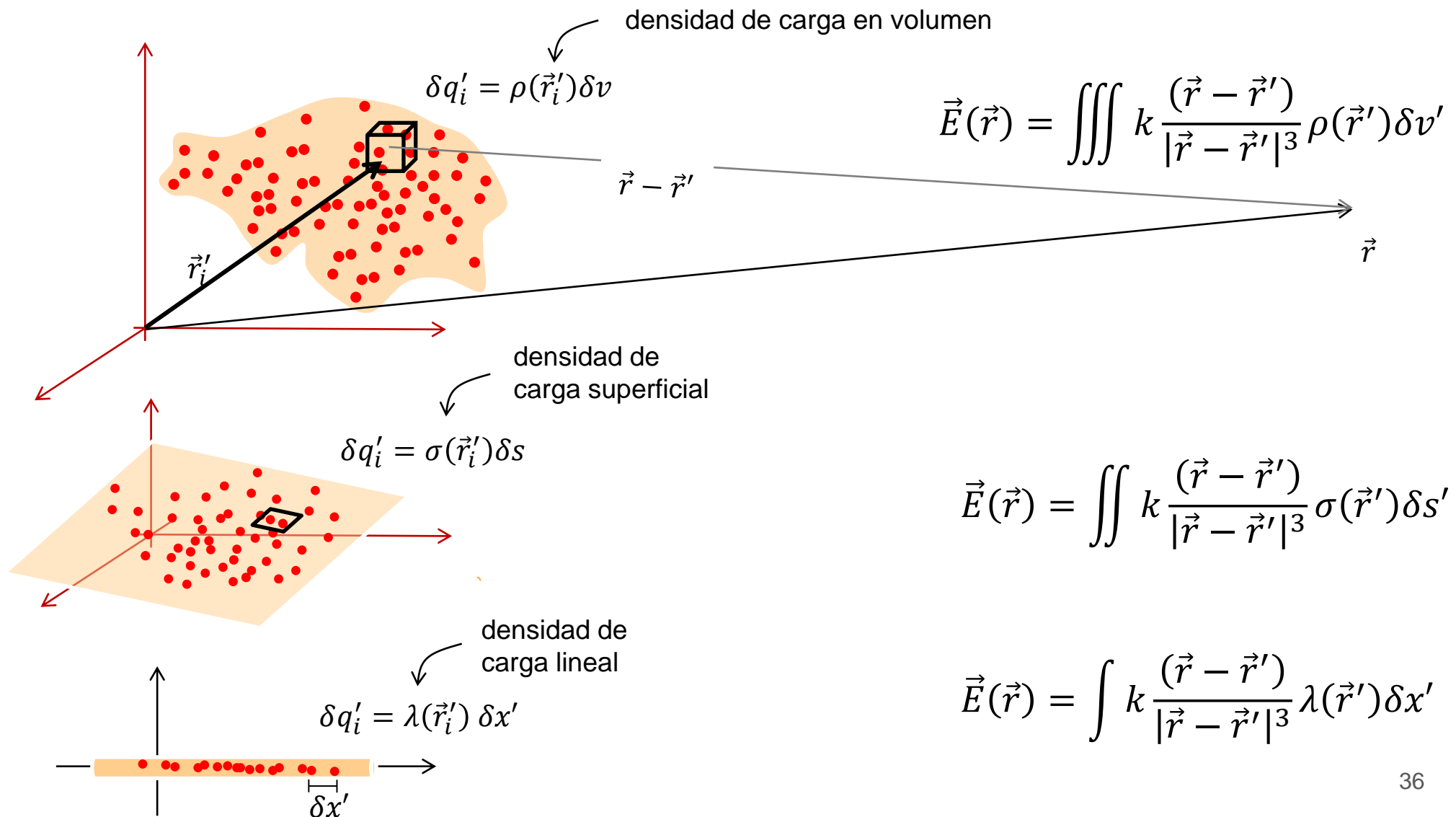
Campo producido por distribuciones continuas de carga

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

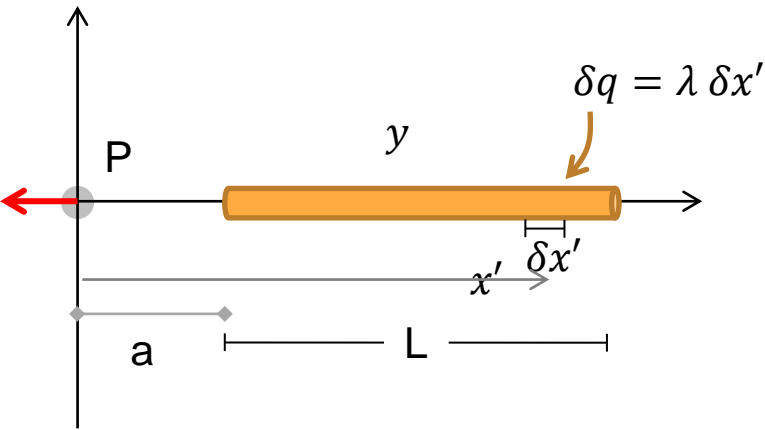


- Cada $\delta v'$ contribuye al campo total
- El resultado es la suma de todas esas contribuciones
- El campo se calcula como una integral en volumen sobre las *variables fuente*
- Toda la información sobre las fuentes está contenida en $\rho(\vec{r}')$

Campo producido por distribuciones continuas de carga



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



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

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

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

$$\vec{r} = 0$$

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

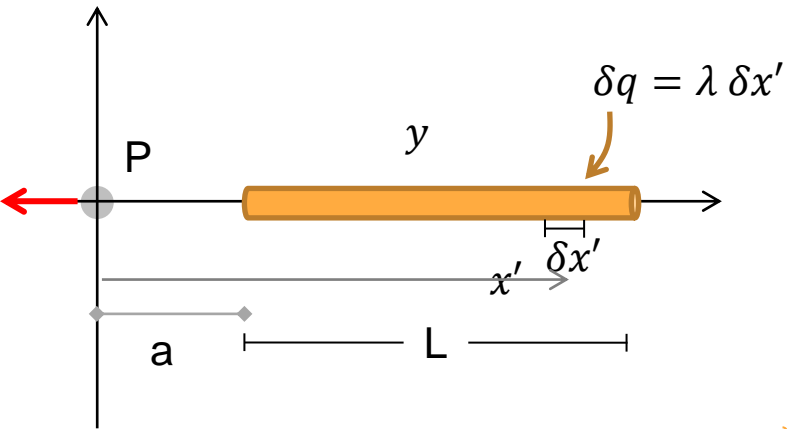
$$\lambda(x'_i) = \lambda$$

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

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

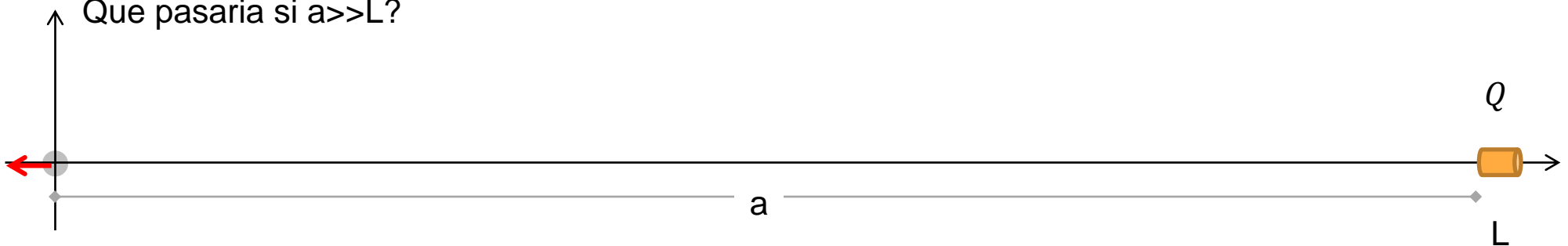
$$\vec{E}_P = -k \frac{\lambda L}{(a+L)a} \hat{x}$$

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