

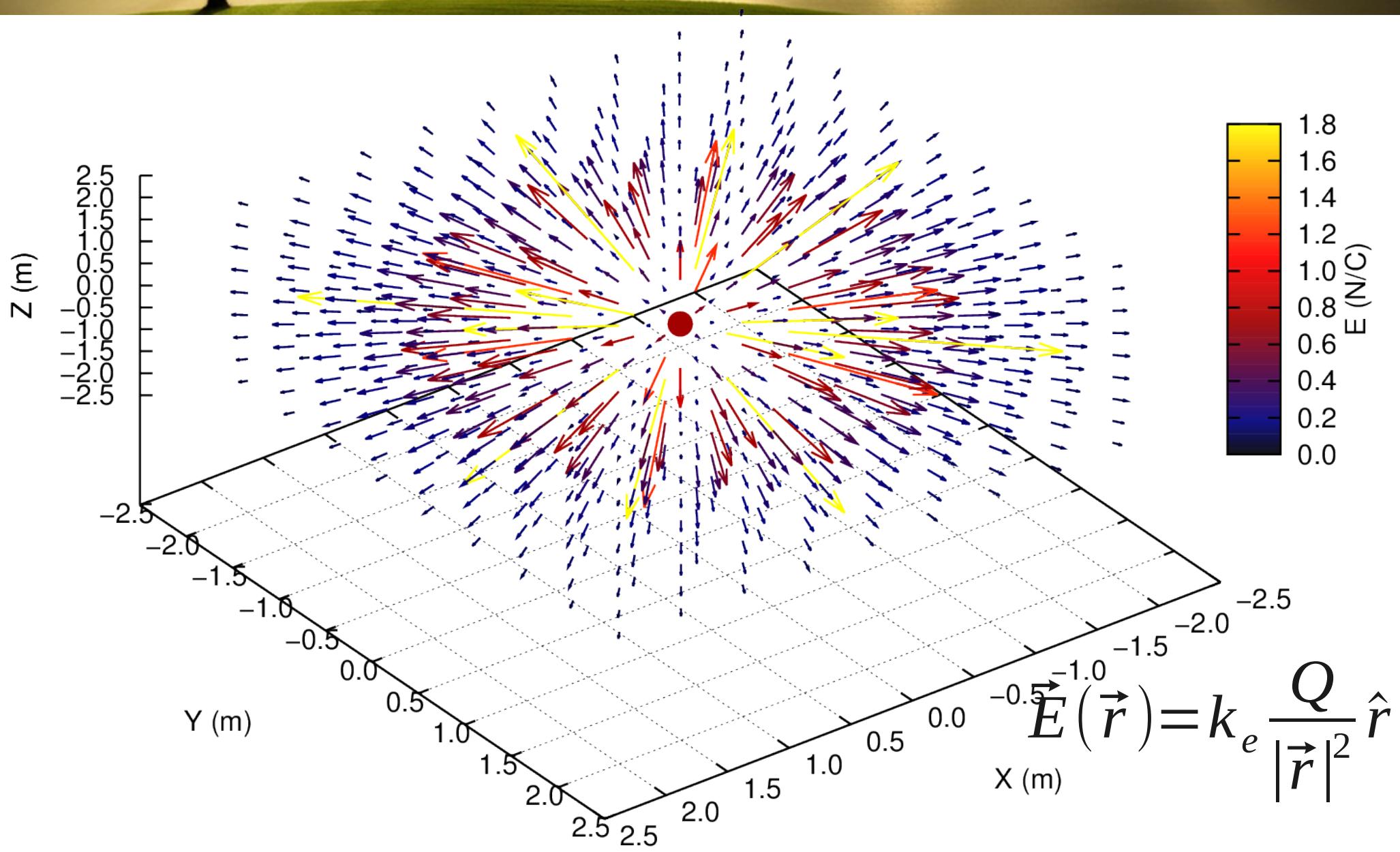
Introducción a la Física (2014)

- Unidad: 03
- Clase: 03
- Fecha: 20140821J
- Contenido: Energía Electrostática
- Web: http://halley.uis.edu.co/fisica_para_todos/
- Archivo: 20140821J-HA-campo-electrico.pdf



En el episodio anterior...

En el episodio anterior...



Problemas de “frizz” → “Descárguese y póngase en contacto con la Tierra”



Cable a Tierra



Y si tu corazón ya no va más
Si ya no existe conexión con los demás
Si estas igual que un barco en alta mar
Tírate un cable a Tierra

“Cable a Tierra”, Fito Paez (Giros, 1985)

21/08/2014

Introducción a la Física (Aso)

En los sistemas eléctricos, se toma a la Tierra (suelo) como referencia de potencial



Otras canciones con contenido físico para seguir siendo el alma de las fiestas

“Efecto Doppler” <http://youtu.be/DFGwtgt78bk>
Soda Stereo (Sueño Stereo, 1995)

Oye la frecuencia decaer
cada vez que me dejas
te perseguiría hasta el sol
pero hoy es solo inercia
Y un milenio pasa...
Oye el arco
suena a lágrimas
cada vez que lo tensas
y oye las sirenas en el mar
si es que aún
no lo entiendes
Es el efecto doppler
cuando te alejas de mí
Es el efecto doppler
cuando te alejas de mí
vuelve... vuelve...
Sostenido por una ilusión
cae la frecuencia de tu amor

“Todo se transforma” [http://youtu.be/Ru\\$b7RfxSoo](http://youtu.be/Ru$b7RfxSoo)
Jorge Drexler (Eco, 2004)

Tu beso se hizo calor,
luego el calor, movimiento,
luego gota de sudor
que se hizo vapor, luego viento
que en un rincón de La Rioja
movió el aspa de un molino
mientras se pisaba el vino
que bebió tu boca roja.

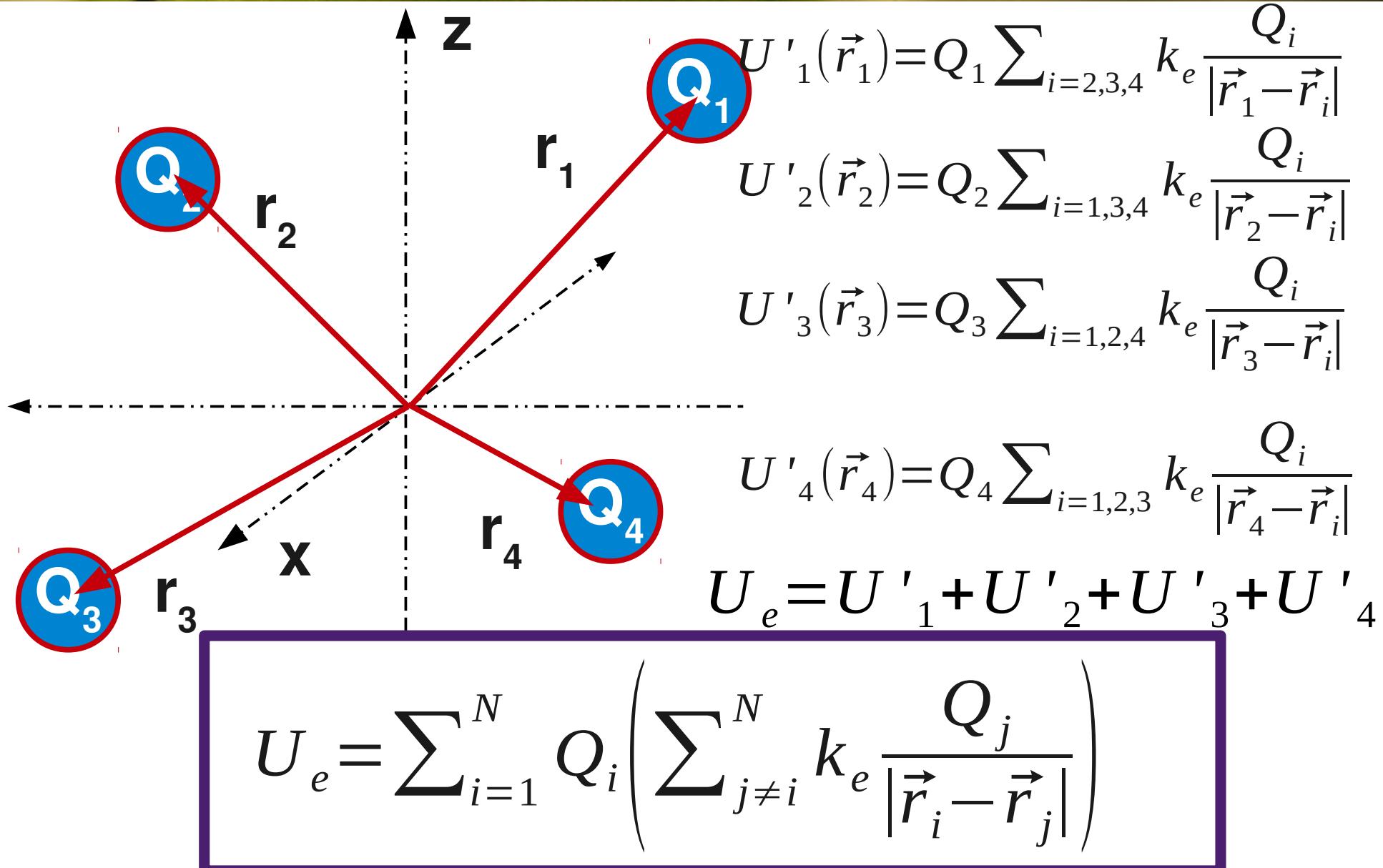
[...]

Cada uno da lo que recibe
y luego recibe lo que da,
nada es más simple,
no hay otra norma:
nada se pierde,
todo se transforma.

[...]

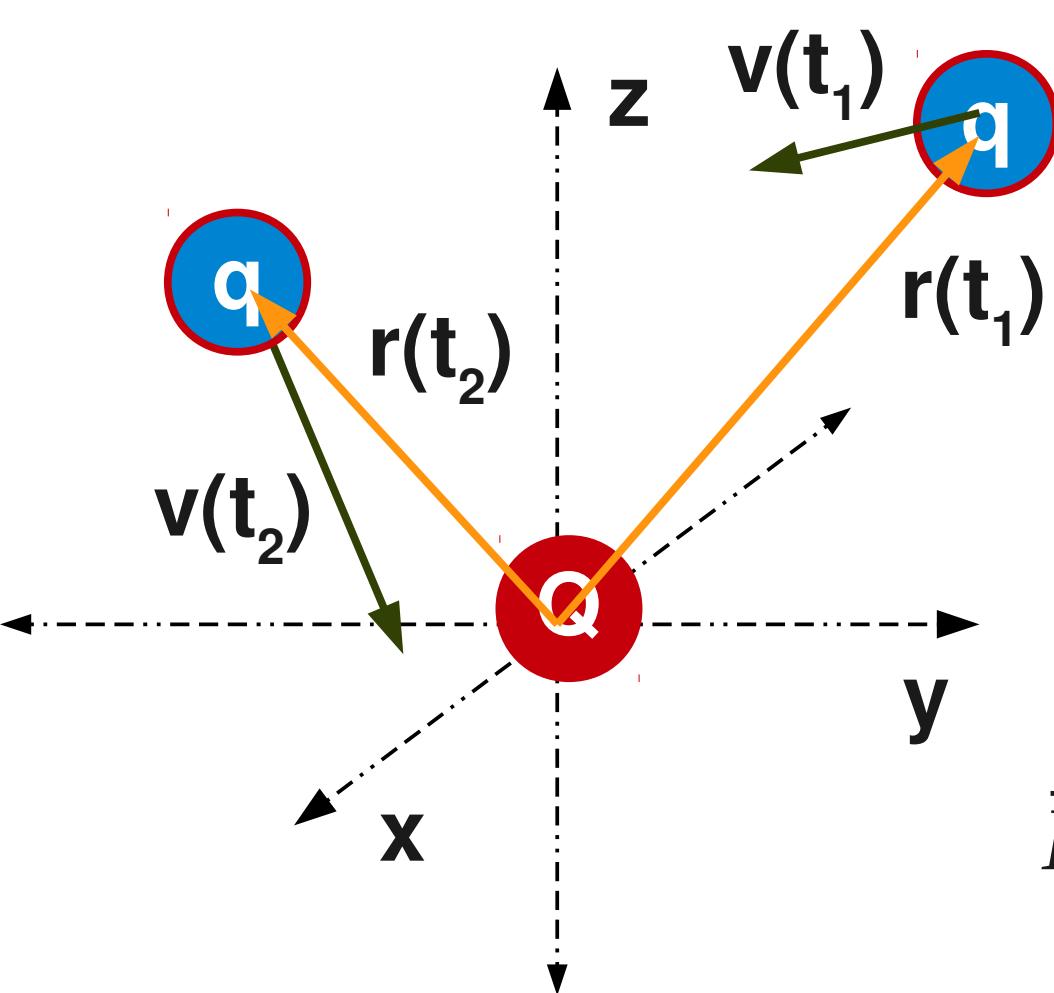


Energía de un sistema de N cargas





Energía mecánica = Energía cinética + Energía potencial



$$U_e(\vec{r}(t)) = k_e \frac{qQ}{|\vec{r}(t)|}$$

$$E_m = E_k + U_e$$

$$\frac{\Delta E_m}{\Delta t} = 0$$

$$\vec{F} = m \vec{a} = - \lim_{\Delta \vec{r} \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta U_e}{|\Delta \vec{r}|} \right) \hat{\vec{r}}$$



Allá lejos y hace tiempo...

$$\Delta U_e = k_e q Q \left(\frac{1}{r + \Delta r} - \frac{1}{r} \right) = k_e q Q \left[\frac{r - (r + \Delta r)}{r(r + \Delta r)} \right]$$

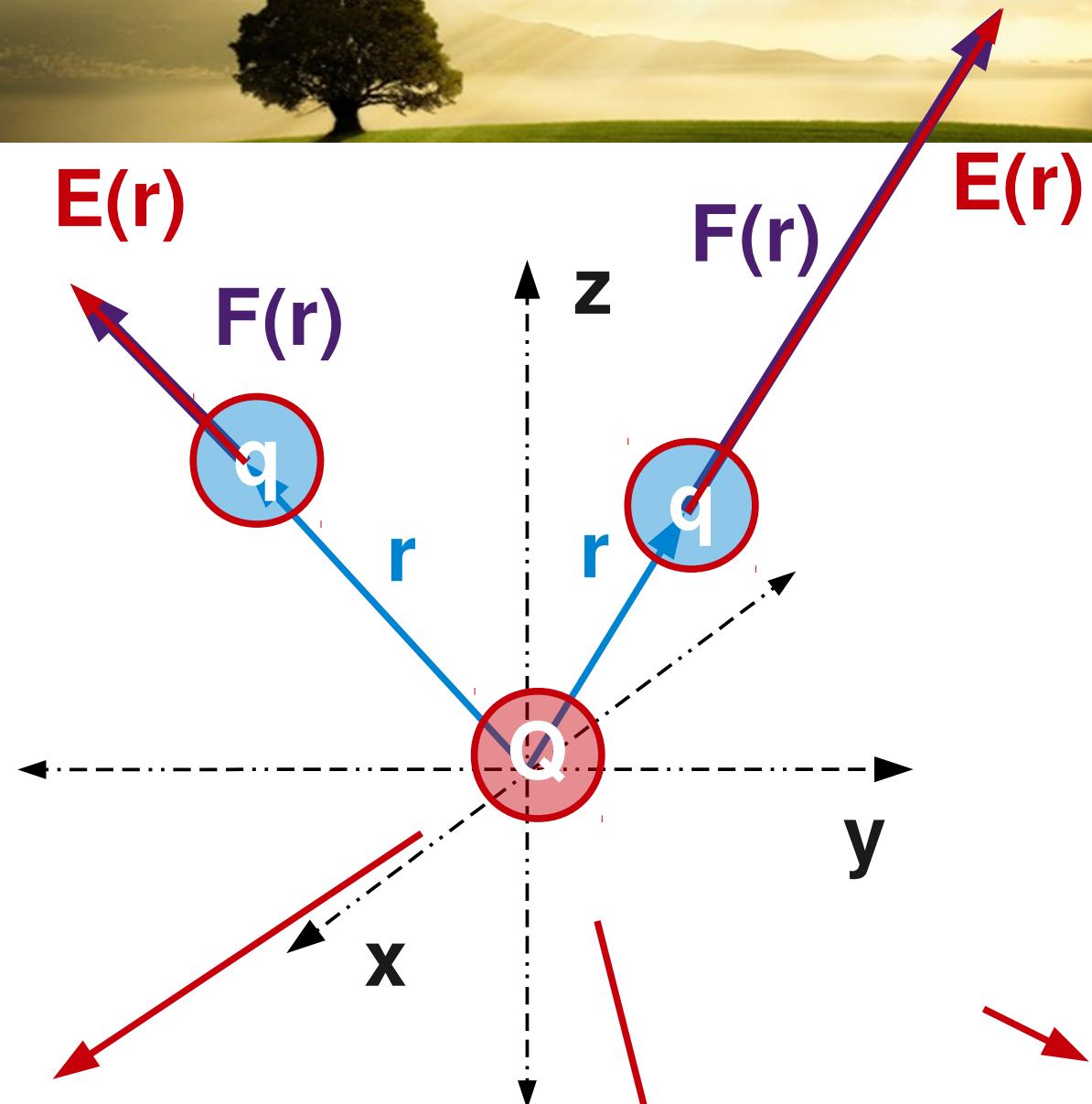
$$\frac{\Delta U_e}{\Delta r} = \frac{k_e q Q}{\Delta r} \left[\frac{-\Delta r}{r(r + \Delta r)} \right] \rightarrow \frac{\Delta U_e}{\Delta r} = -\frac{k_e q Q}{r(r + \Delta r)}$$

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta E_e}{\Delta r} = -\frac{k_e q Q}{r^2}$$

$$\vec{F}_e = -\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta U_e}{\Delta r} \rightarrow \vec{F}_e = k_e \frac{q Q}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

Fuerza
electrostática

Campo eléctrico



$$\vec{F}_e(\vec{r}) = \left(k_e \frac{q Q}{|\vec{r}|^2} \right) \hat{r}$$

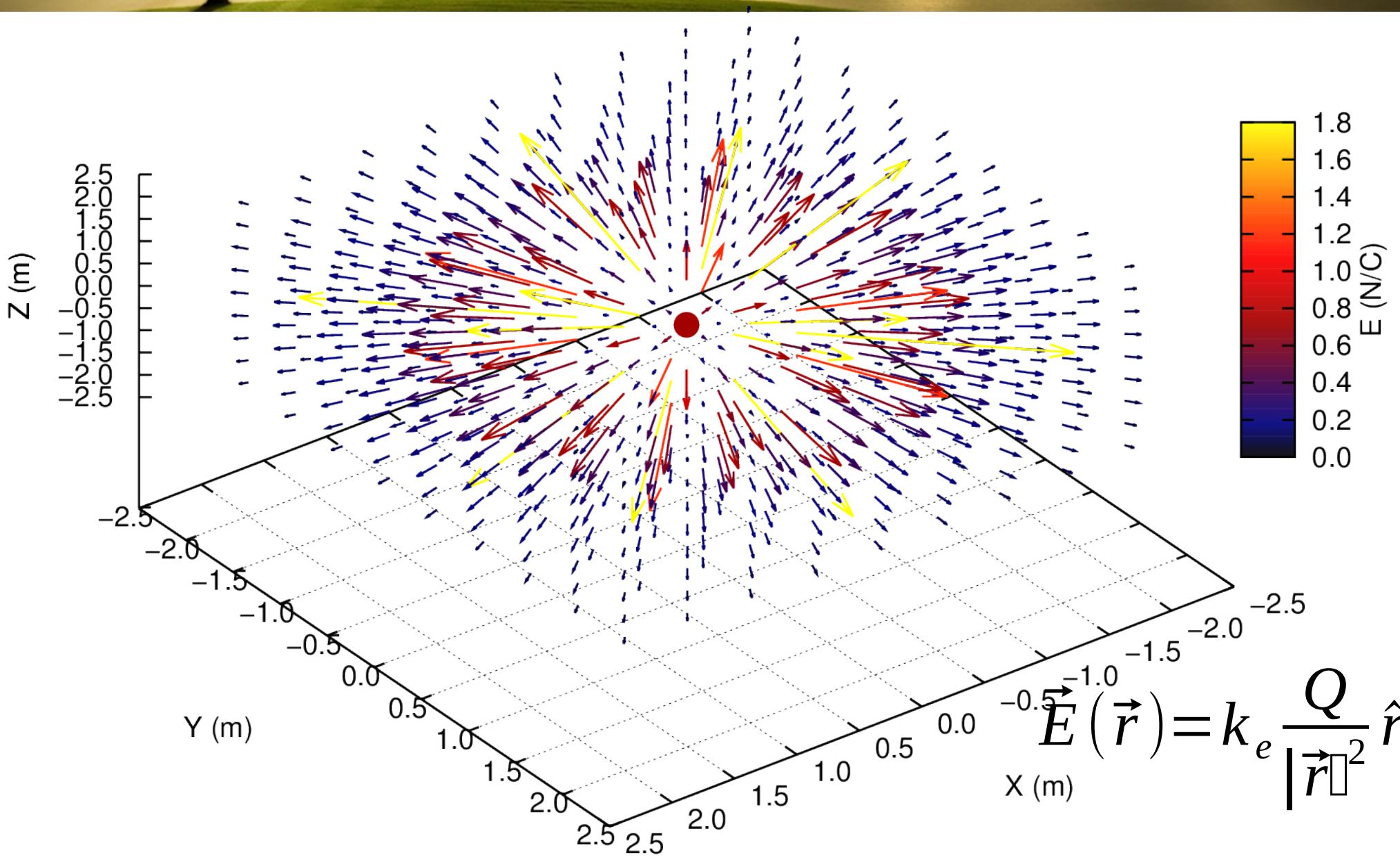
$$\vec{F}_e(\vec{r}) = q \left(k_e \frac{Q}{|\vec{r}|^2} \hat{r} \right)$$

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

$$\vec{E}(\vec{r}) = \left(k_e \frac{Q}{|\vec{r}|^2} \hat{r} \right)$$

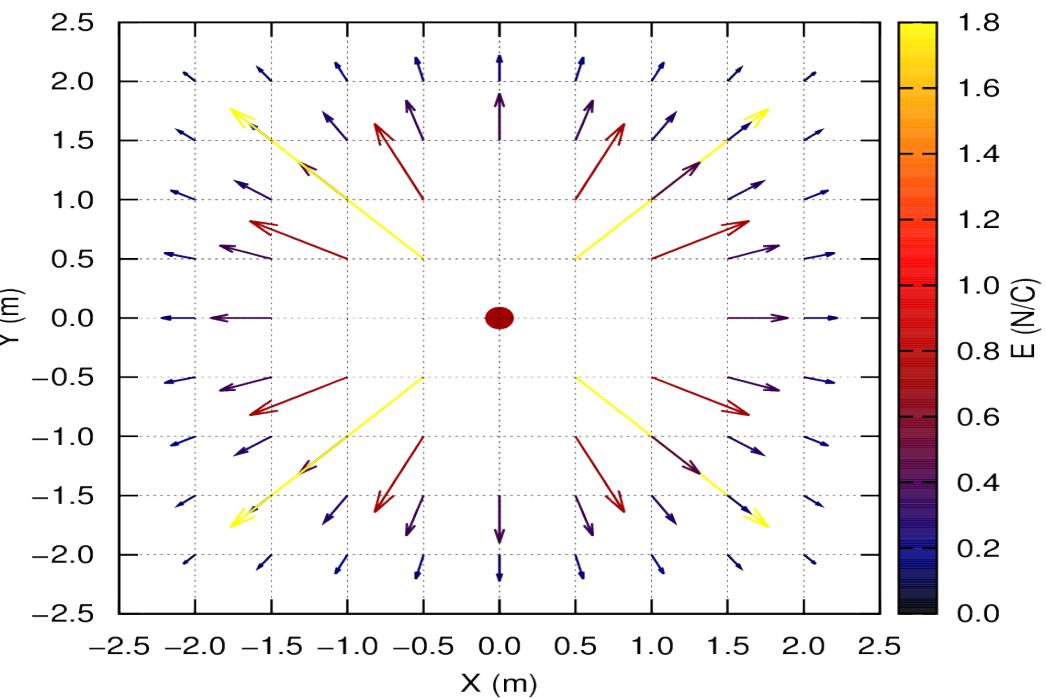
$E(r)$ es el Campo Eléctrico producido por la carga Q
 $E(r)$ es un campo vectorial

Campo Eléctrico, carga puntual en el origen

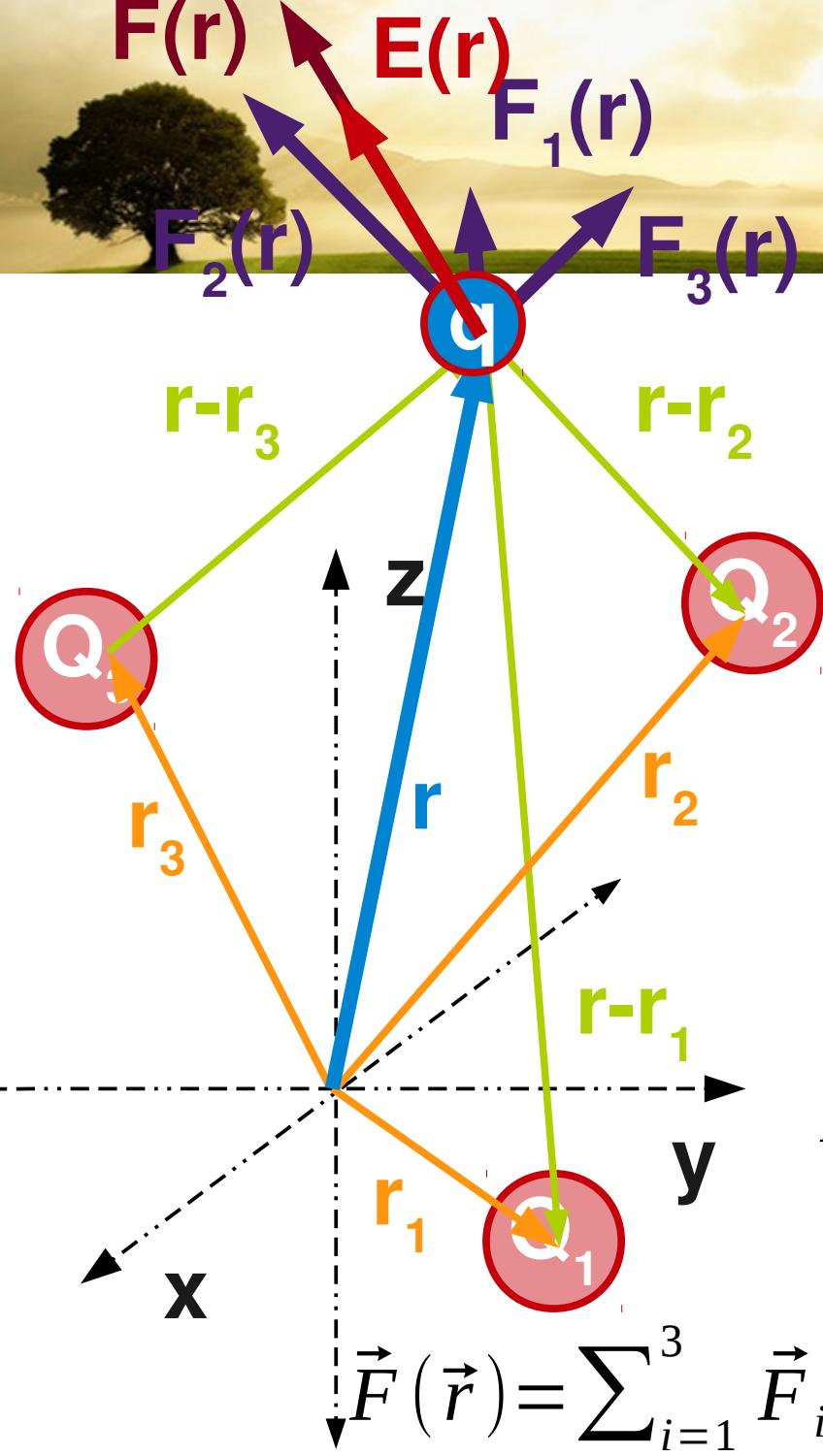


Campo Eléctrico, carga puntual en el origen (plano z=0)

$$\vec{E}(\vec{r}) = \left(k_e \frac{Q}{|\vec{r}|^2} \hat{r} \right)$$



Configuración de cargas



$$\vec{F}_1(\vec{r}) = q \left(k_e \frac{Q_1}{|\vec{r} - \vec{r}_1|^2} \right) \frac{(\vec{r} - \vec{r}_1)}{|\vec{r} - \vec{r}_1|}$$

$$\vec{F}_2(\vec{r}) = q \left(k_e \frac{Q_2}{|\vec{r} - \vec{r}_2|^2} \right) \frac{(\vec{r} - \vec{r}_2)}{|\vec{r} - \vec{r}_2|}$$

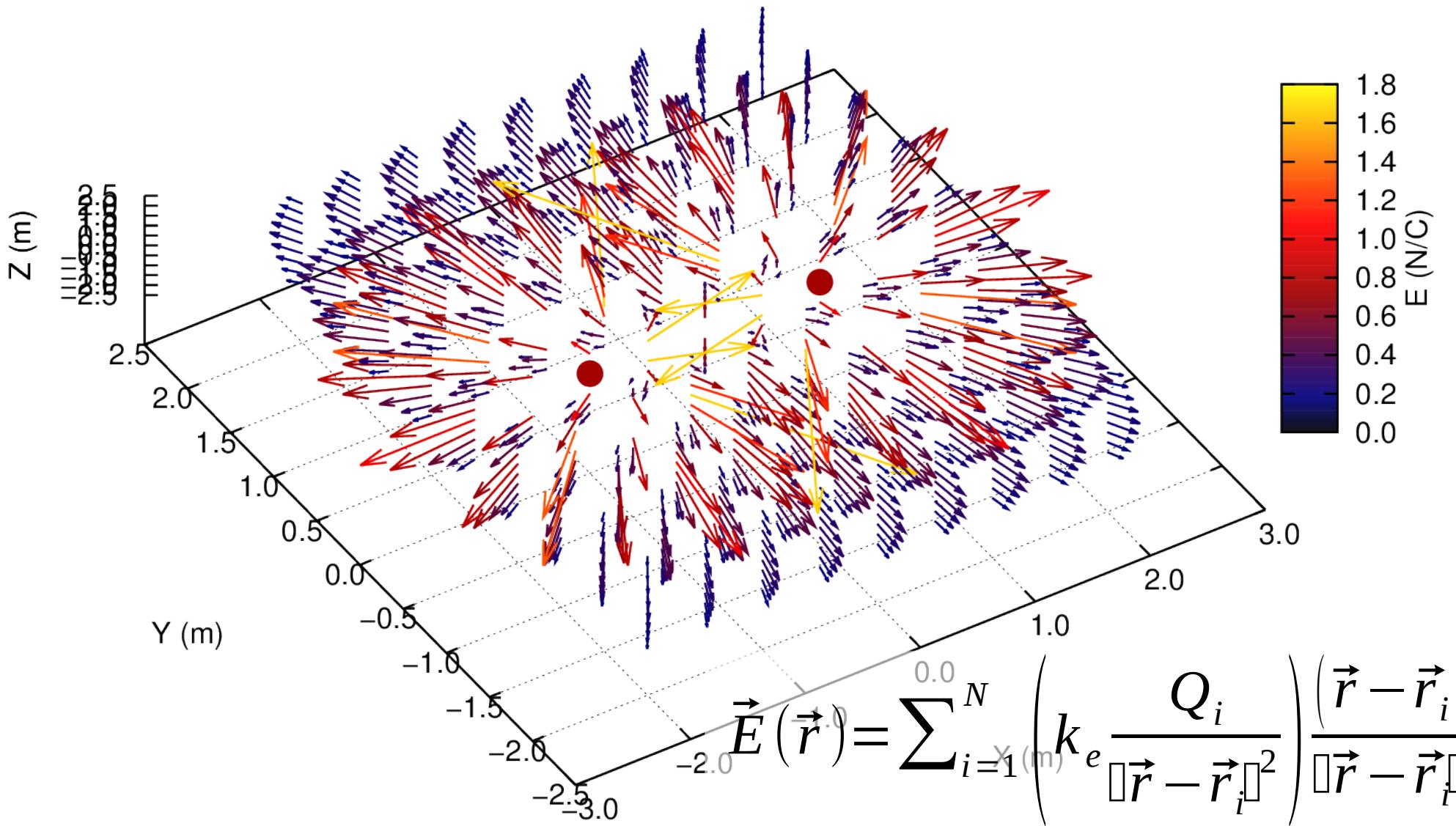
$$\vec{F}_3(\vec{r}) = q \left(k_e \frac{Q_3}{|\vec{r} - \vec{r}_3|^2} \right) \frac{(\vec{r} - \vec{r}_3)}{|\vec{r} - \vec{r}_3|}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^3 \left(k_e \frac{Q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^2} \right) \frac{(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

$$\vec{F}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^3 \vec{F}_i(\vec{r}) = q \sum_{i=1}^3 \left(k_e \frac{Q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^2} \right) \frac{(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

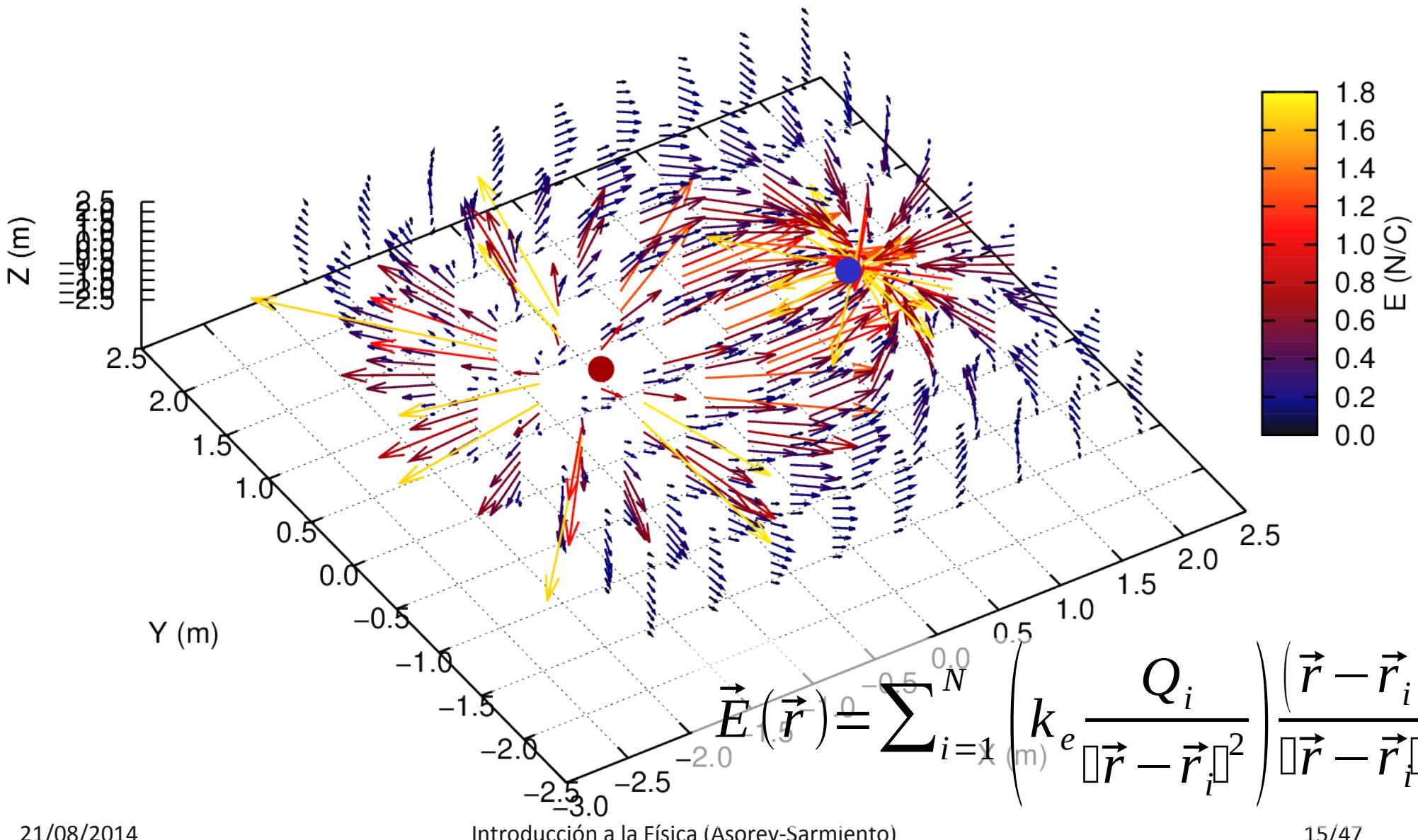
Campo eléctrico: dos cargas

$Q_1=Q_2; X=\pm/-1$



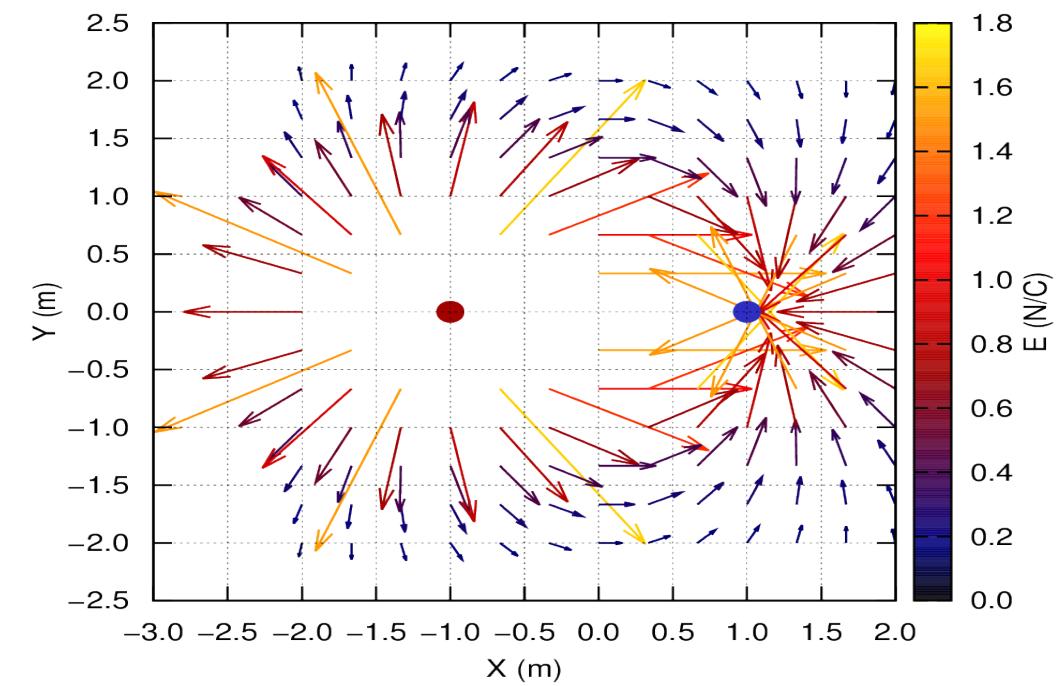
Campo eléctrico: dos cargas

$Q_1 = -Q_2; X = \pm 1$



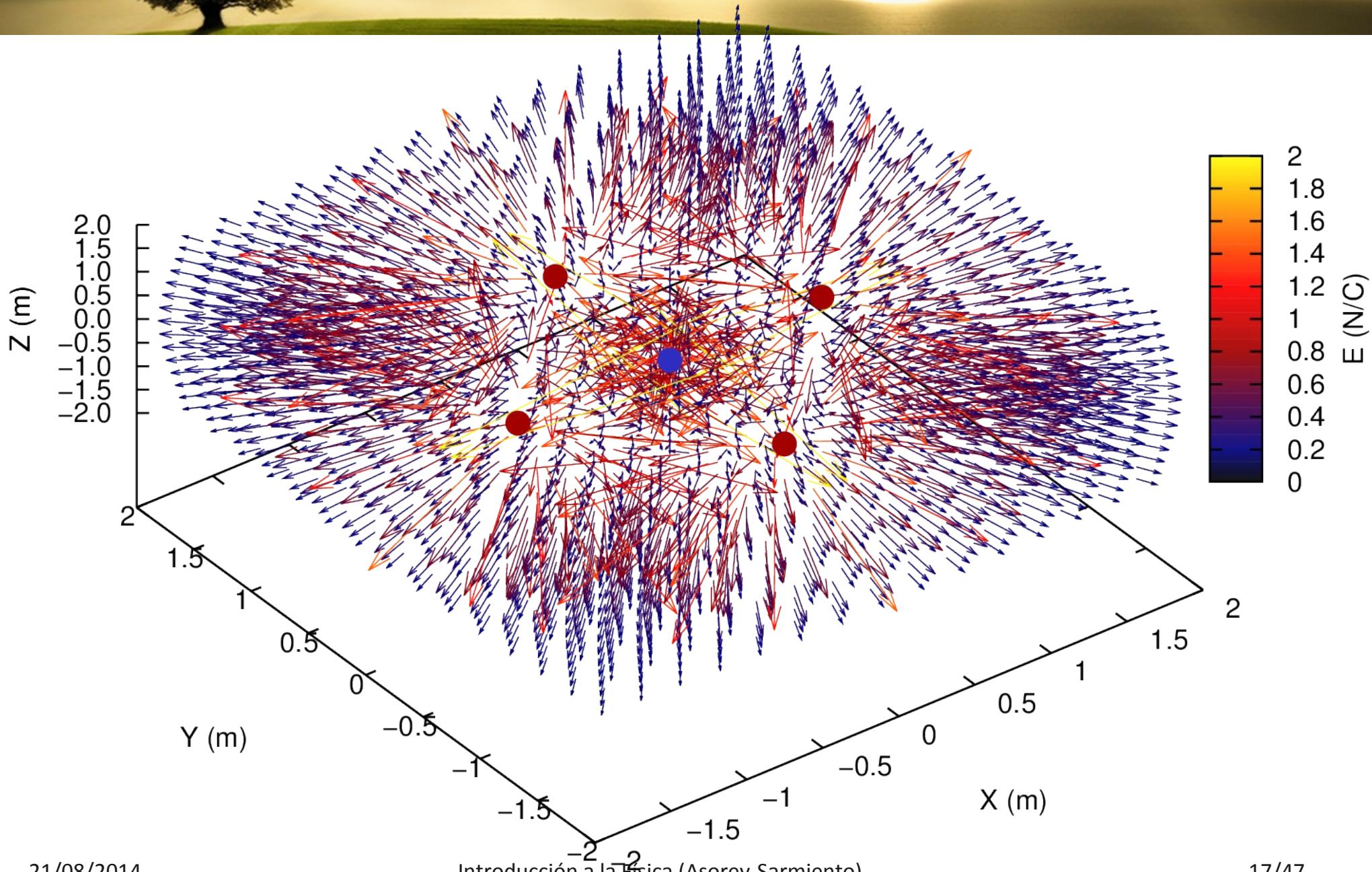
Campo eléctrico: dos cargas

$Q_1 = -Q_2; X = +/- 1$ (plano $Z=0$)



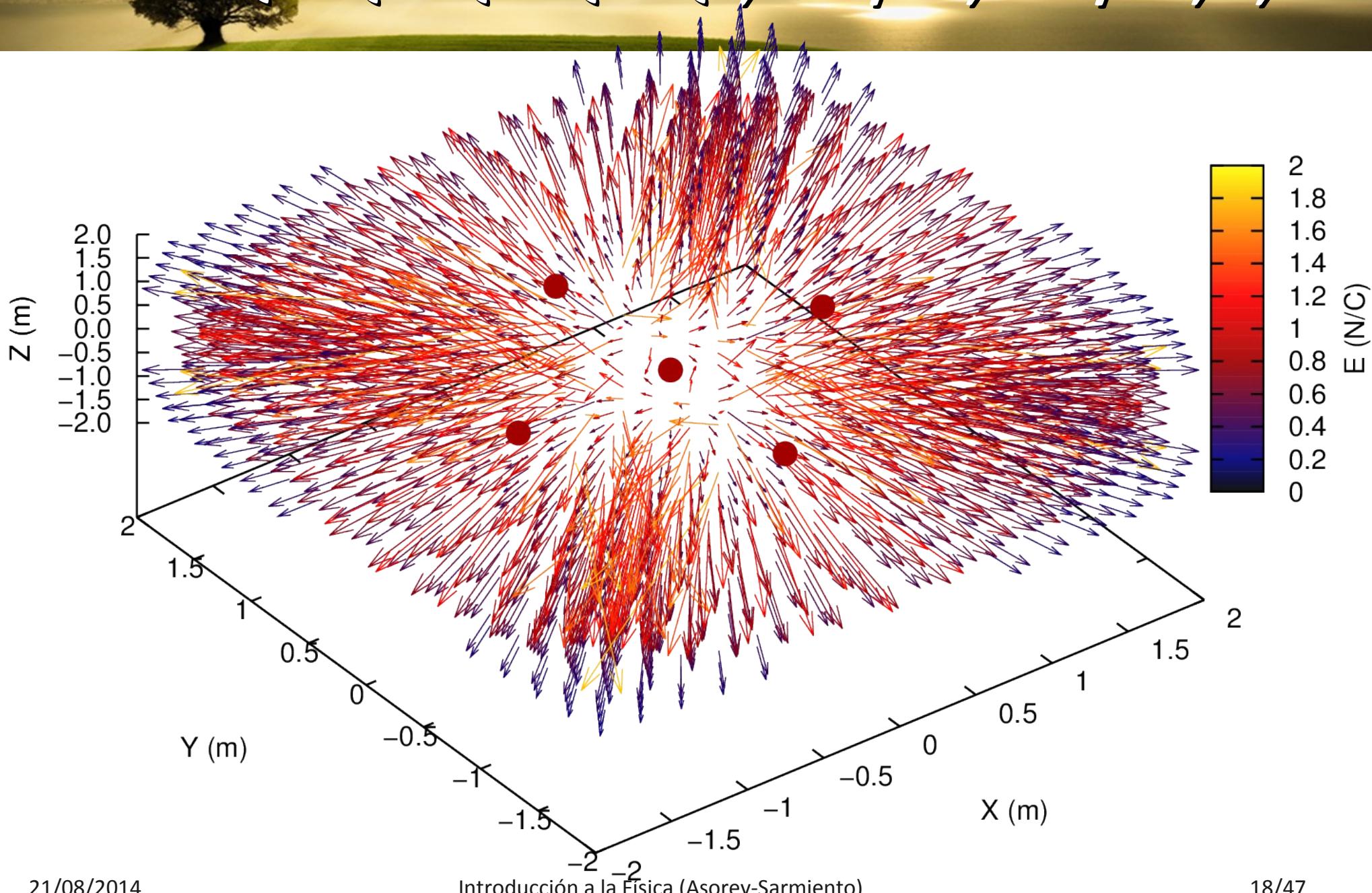
Campo eléctrico: cinco cargas

$Q_1=Q_2=Q_3=Q_4=-Q_5; X=+/- 1; Y=+/- 1; 0,0$

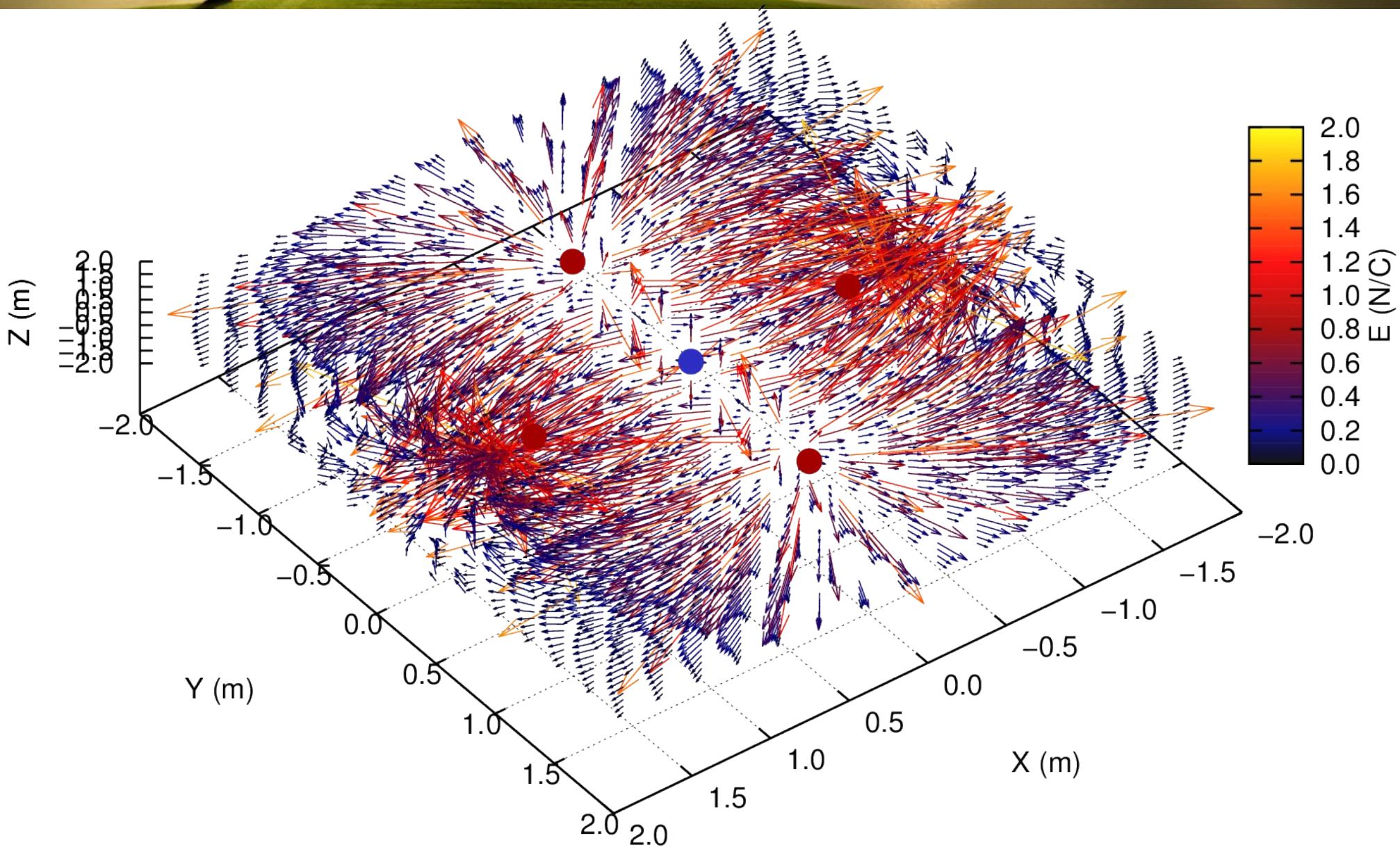


Campo eléctrico: cinco cargas

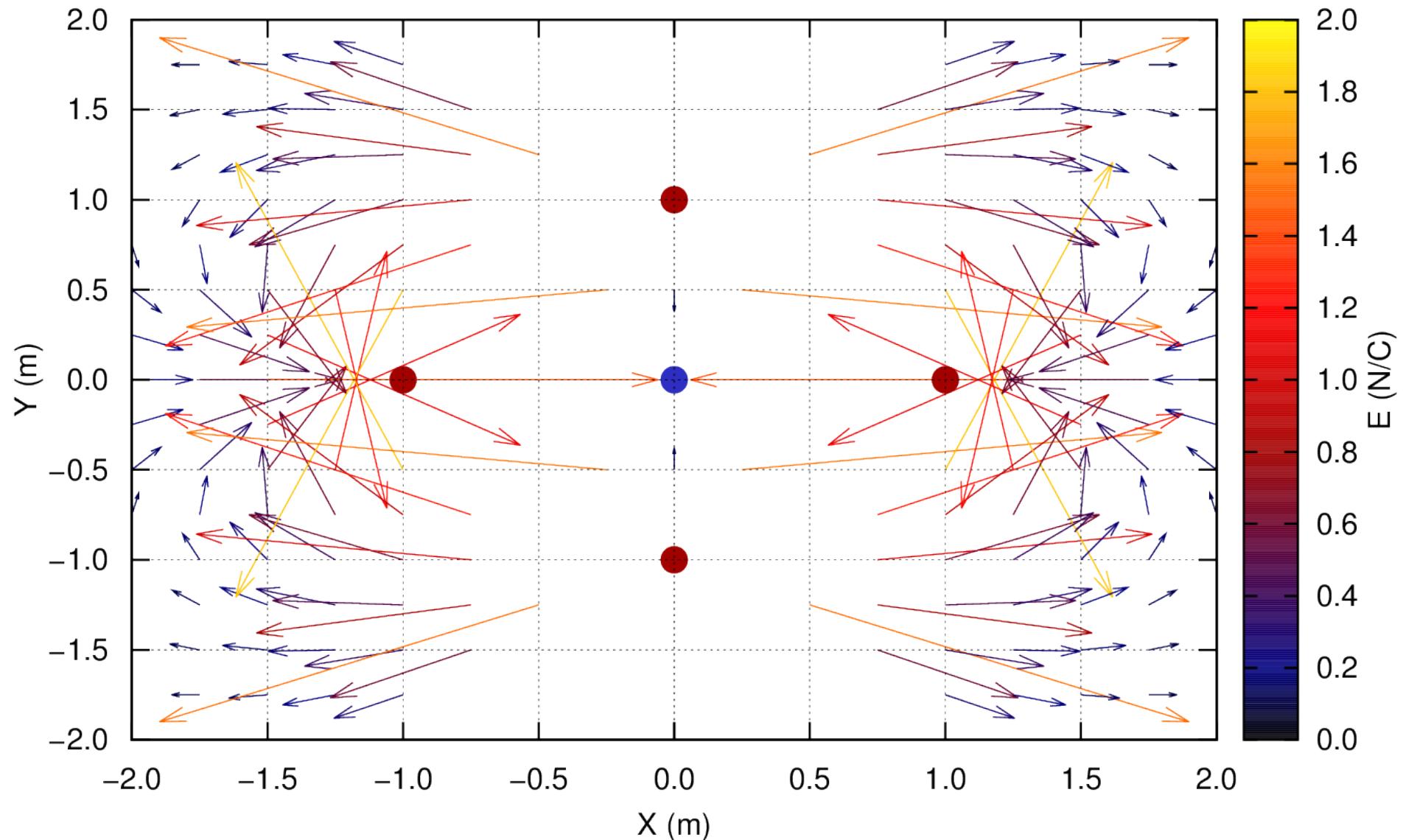
$Q_1=Q_2=Q_3=Q_4=Q_5; X=+/- 1; Y=+/- 1; 0,0$



Campo eléctrico: cinco cargas (positivas en el eje Y, negativas en el X)



Campo eléctrico: Anterior pero plano z=0



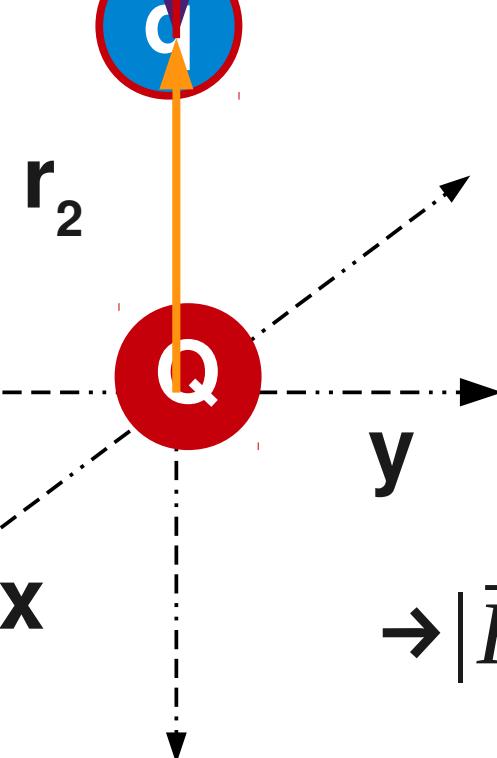
Potencial y Campo



$$U_e(\vec{r}_1) = q V(\vec{r}_1) \text{ y } U_e(\vec{r}_2) = q V(\vec{r}_2)$$

$$\Delta U_e = U_e(\vec{r}_2) - U_e(\vec{r}_1) = q \Delta V$$

La variación de energía potencial es igual al trabajo realizado por un agente externo para traer “armar” esa configuración (Δr es un diferencial “dr” en el mundo de lo pequeño)



$$W = -\Delta U_e = -q \Delta V = -q \Delta V \frac{|\Delta \vec{r}|}{|\Delta \vec{r}|}$$

$$W = -q \frac{\Delta V}{|\Delta \vec{r}|} |\Delta \vec{r}| = -q \frac{\Delta V}{|\Delta \vec{r}|} |\Delta \vec{r}|$$

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = |\vec{F}| |\Delta \vec{r}| \cos(\theta) = -|\vec{F}| |\Delta \vec{r}|$$

$$\rightarrow |\vec{F}| = q |\vec{E}| = q \frac{\Delta V}{|\Delta \vec{r}|} \rightarrow |\vec{E}| = \frac{\Delta V}{|\Delta \vec{r}|} \rightarrow [E] = \frac{V}{m}$$



Superficies de equipotencial

- Es el lugar de todos los puntos del espacio con el mismo valor para el potencial eléctrico V

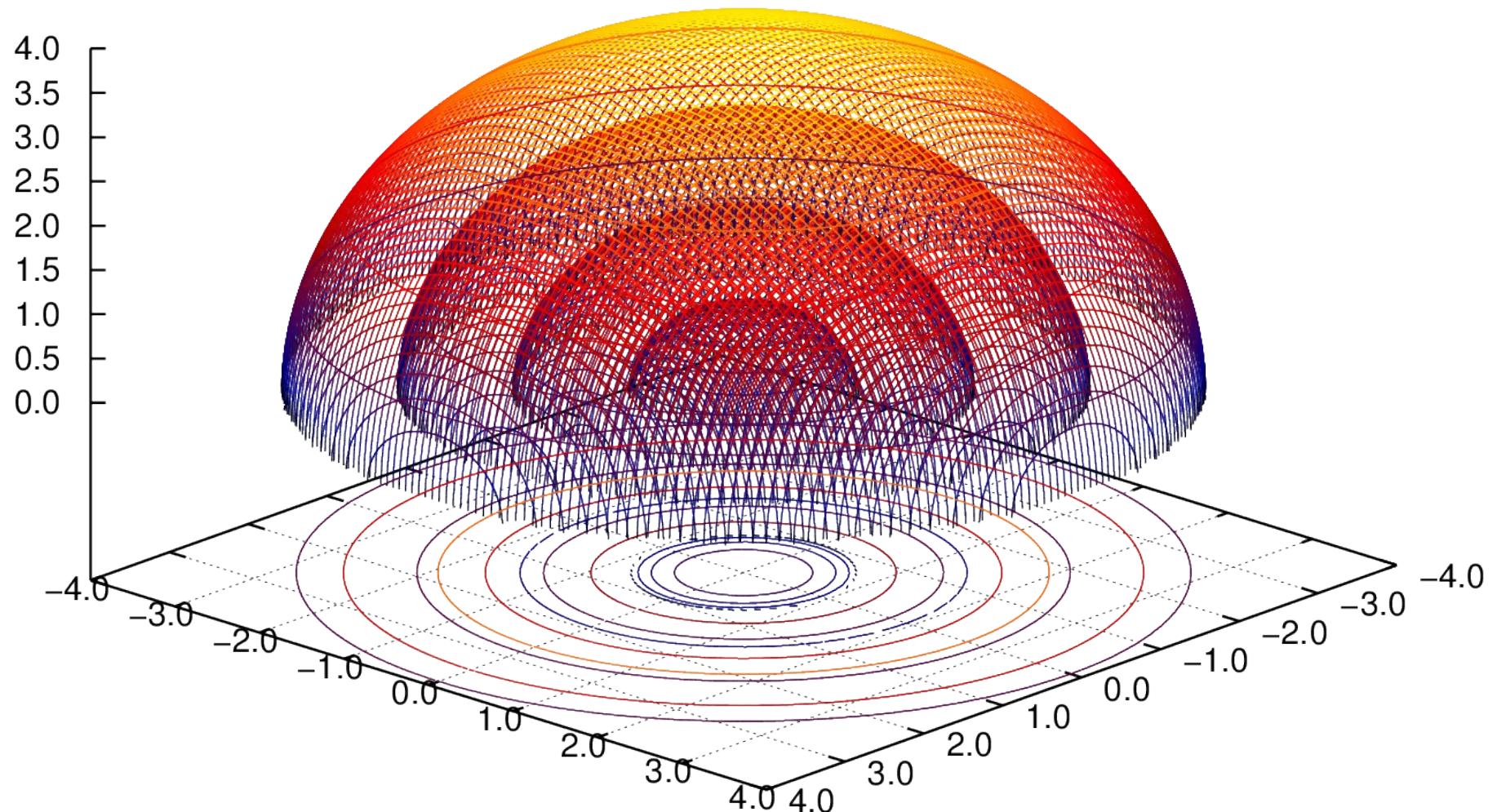
\vec{r} tal que $V(\vec{r}) = \text{constante}$

- P. ej: carga puntual Q en el origen $\mathbf{r}_1 = (0,0,0)$

$$V(\vec{r}) = k_e \frac{Q}{|\vec{r}|}$$

- ¿Qué superficie tengo para los equipotenciales?

Curvas de equipotencial





Curvas de equipotencial

- Para una carga puntual en el origen:

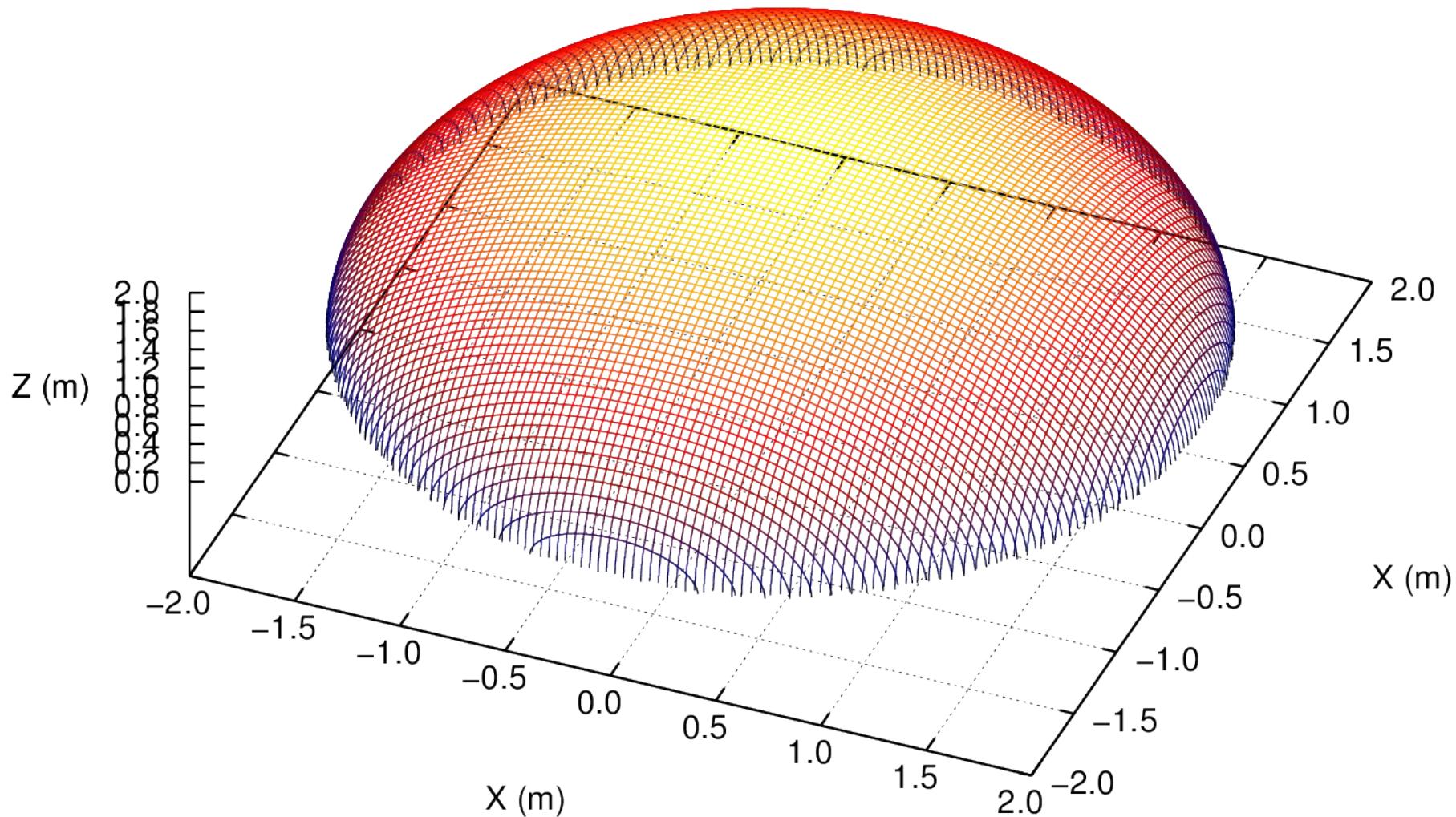
$$V(\vec{r}) = k_e \frac{Q}{|\vec{r}|} = \text{cte} \rightarrow |\vec{r}| = \text{cte}$$

- Pero... $|\vec{r}| = \sqrt{\sum_i x_i^2} = \text{cte} = a$

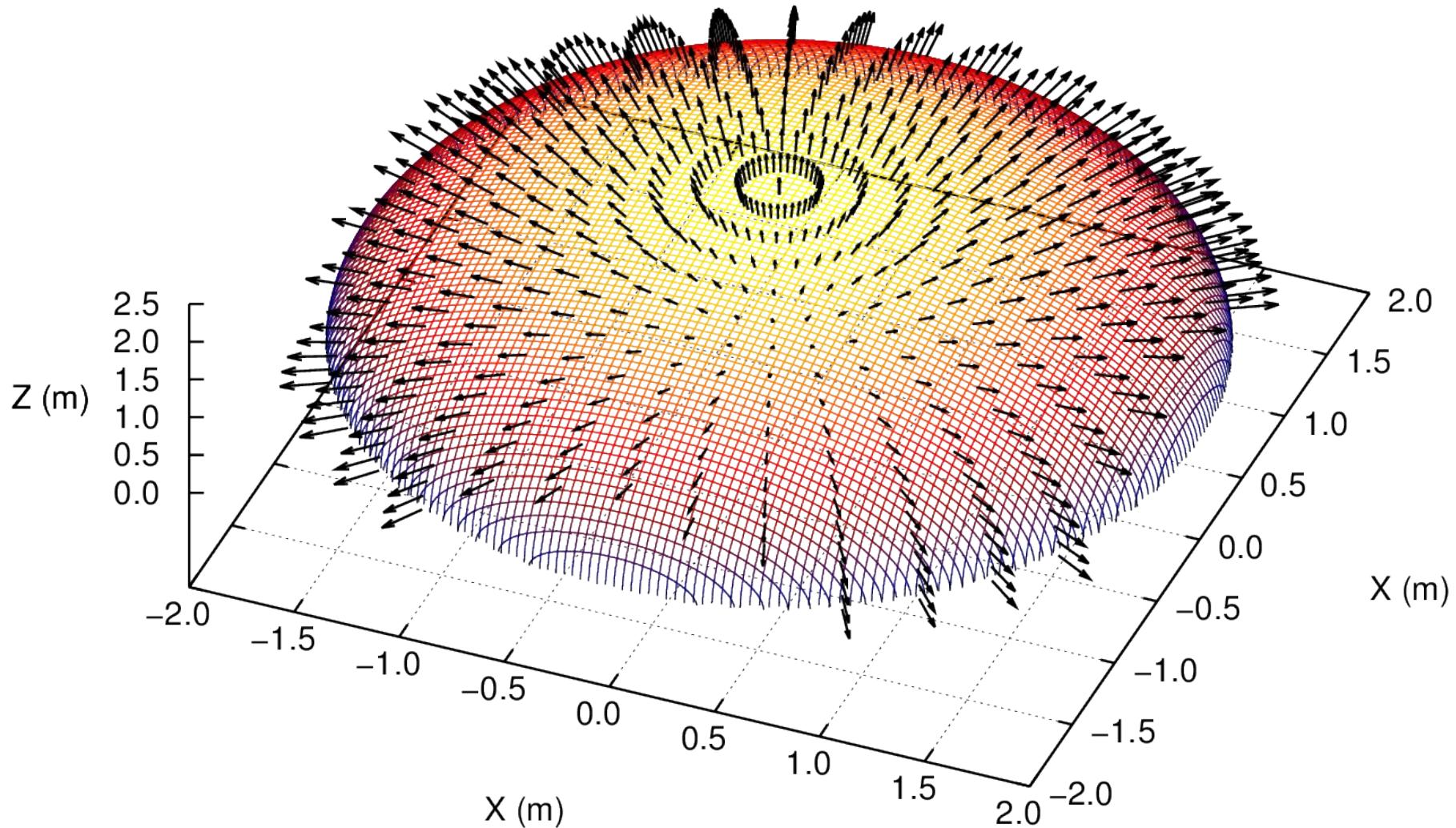
$$\text{en } R^3 : x^2 + y^2 + z^2 = a^2$$

- Las curvas de equipotencial son esferas
- Pero, si $|\mathbf{r}| = \text{cte} \rightarrow$
 $\rightarrow E(\mathbf{r}) = (\text{cte}) \mathbf{r} \leftarrow$ Mismo módulo, distinta dirección

Potencial y campo

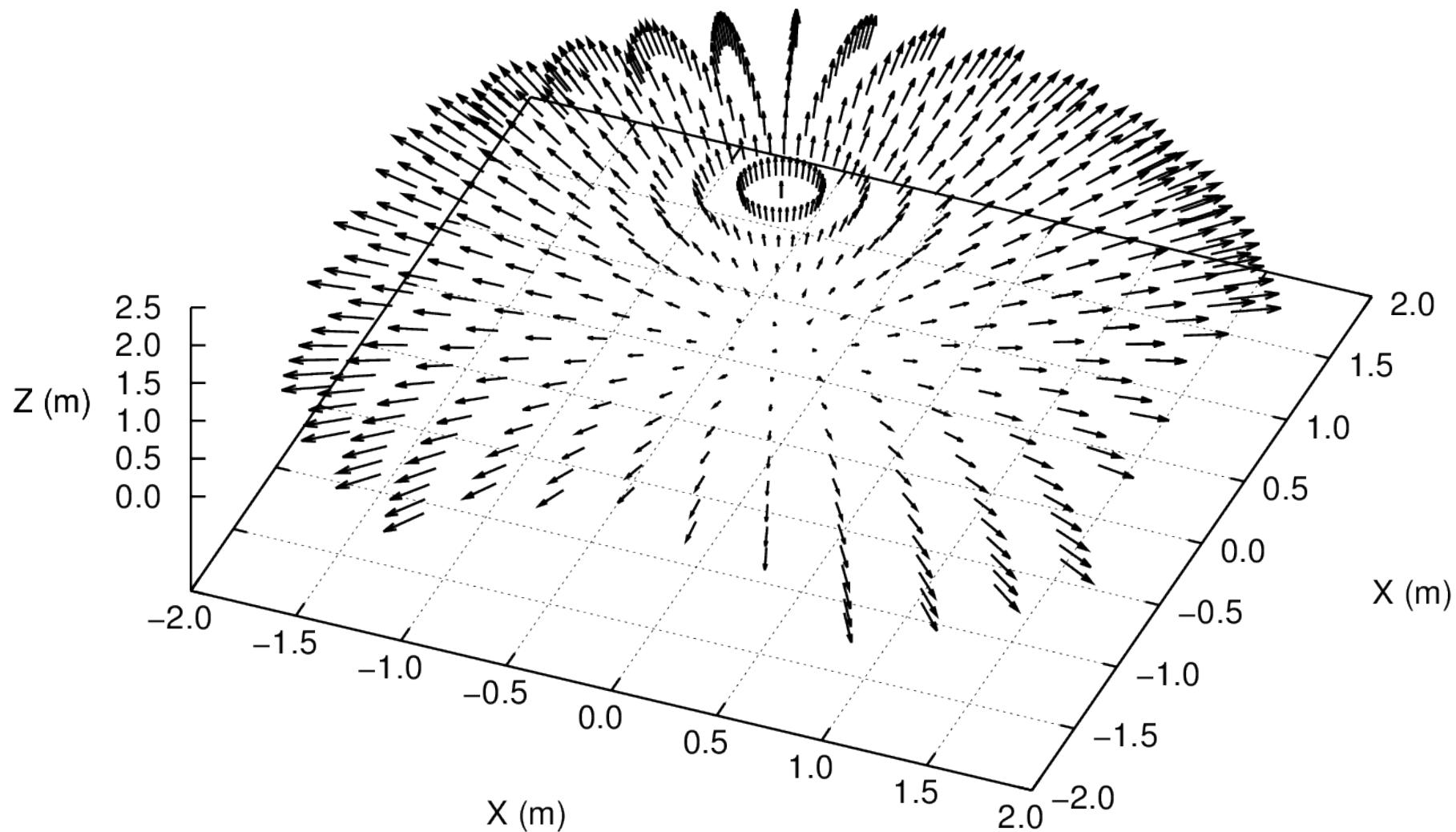


Potencial y campo





Potencial y campo





En general...

- Los “líneas de campo” son tangentes a los vectores campo eléctrico
- Las trayectorias de una carga de prueba seguirán las líneas de campo
- Las líneas de campo son perpendiculares a las superficies equipotenciales
- Sobre una equipotencial:
 - El valor del potencial es constante
 - El campo eléctrico cambia de dirección, pero su módulo es constante

Nueva configuración

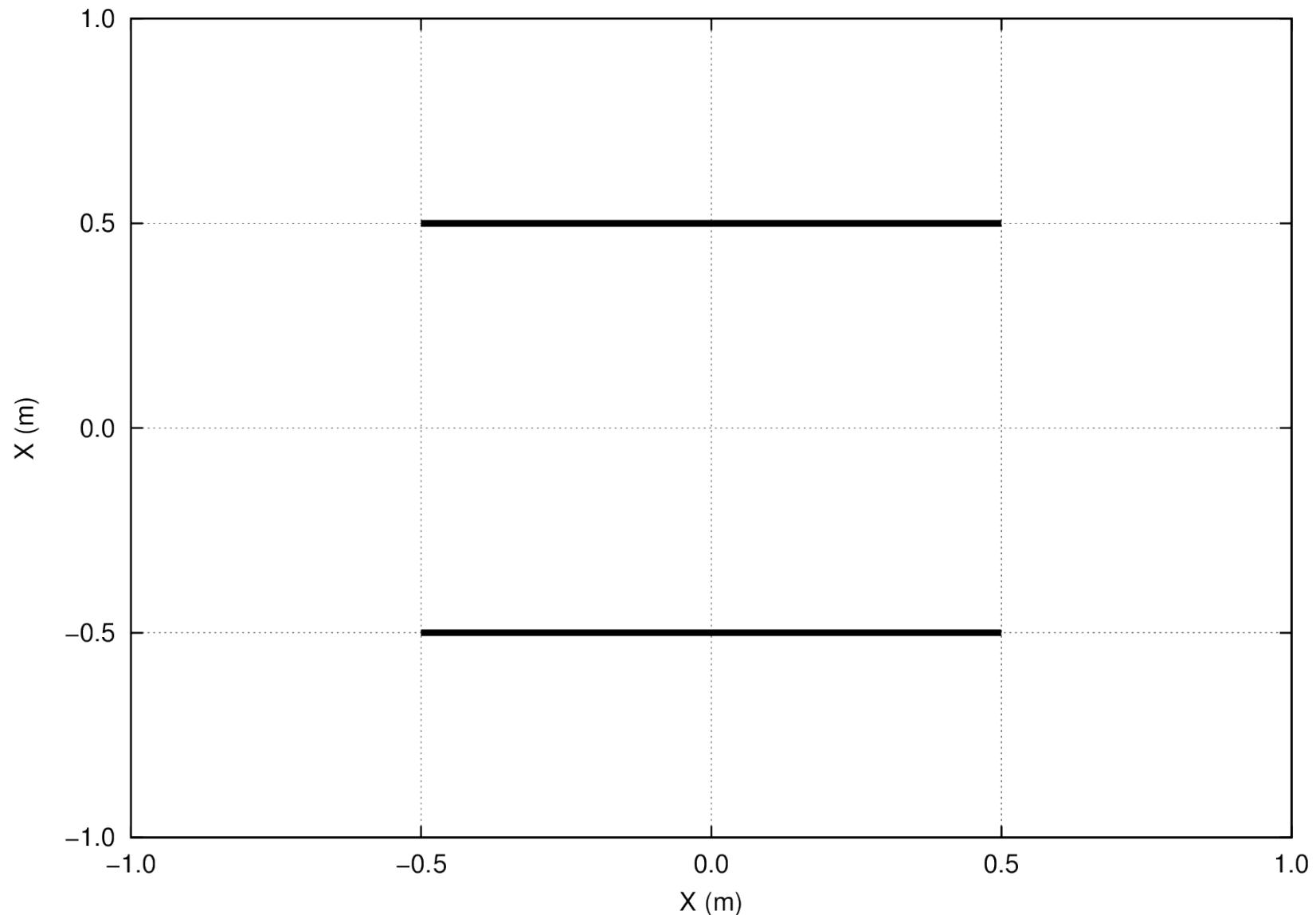


- Supongamos que tenemos dos placas paralelas separadas por una distancia d
- Ponemos cargas positivas en una, y negativas en la otra
- Empezamos con una carga positiva y una negativa
- Y luego vamos agregando cargas positivas y negativas a distancias cada vez más pequeñas
- El campo eléctrico siempre es:
- Y la fuerza:

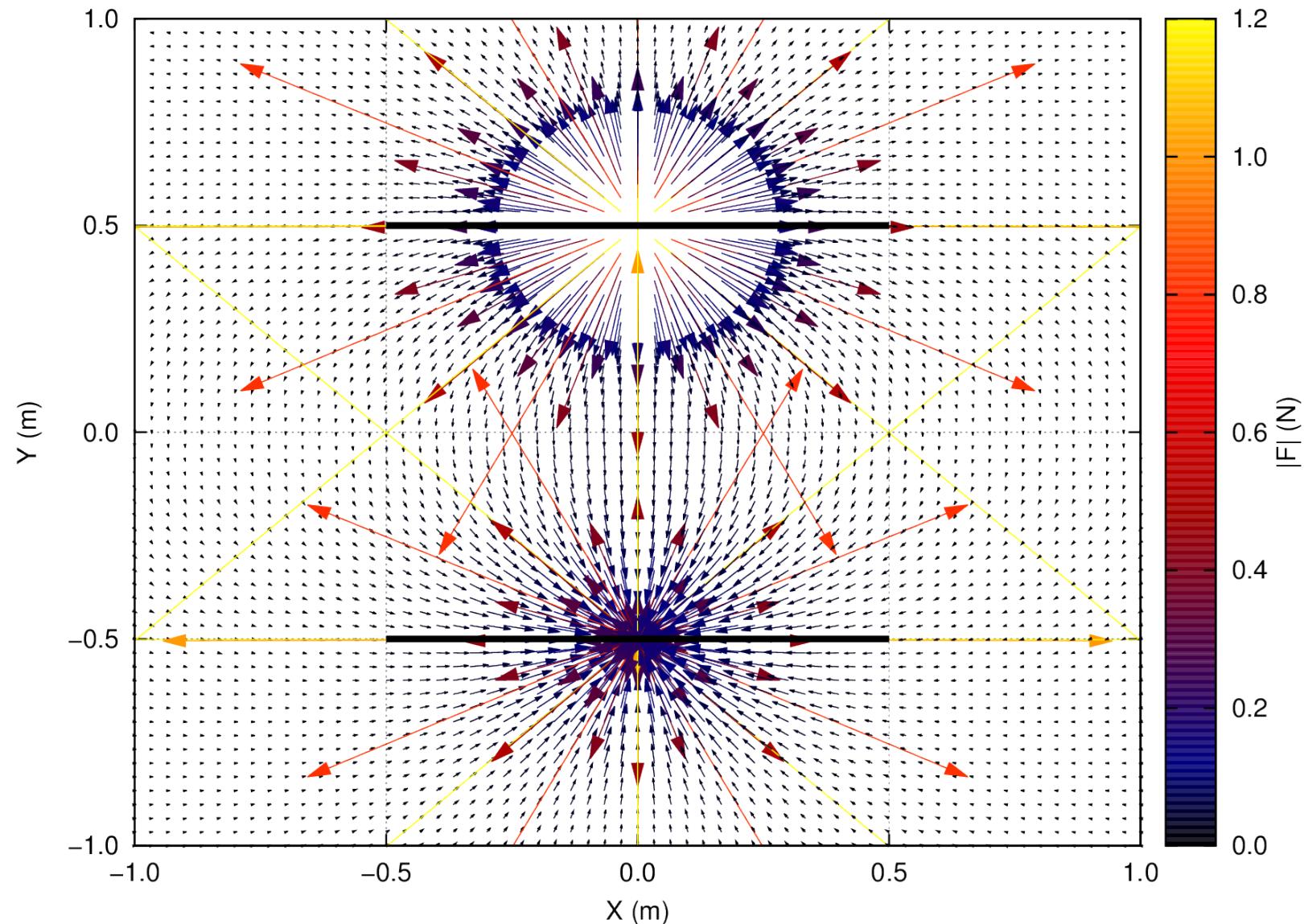
$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=0}^N k_e \frac{Q_i(\vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^2} (\hat{\vec{r}} - \hat{\vec{r}}_i)$$

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

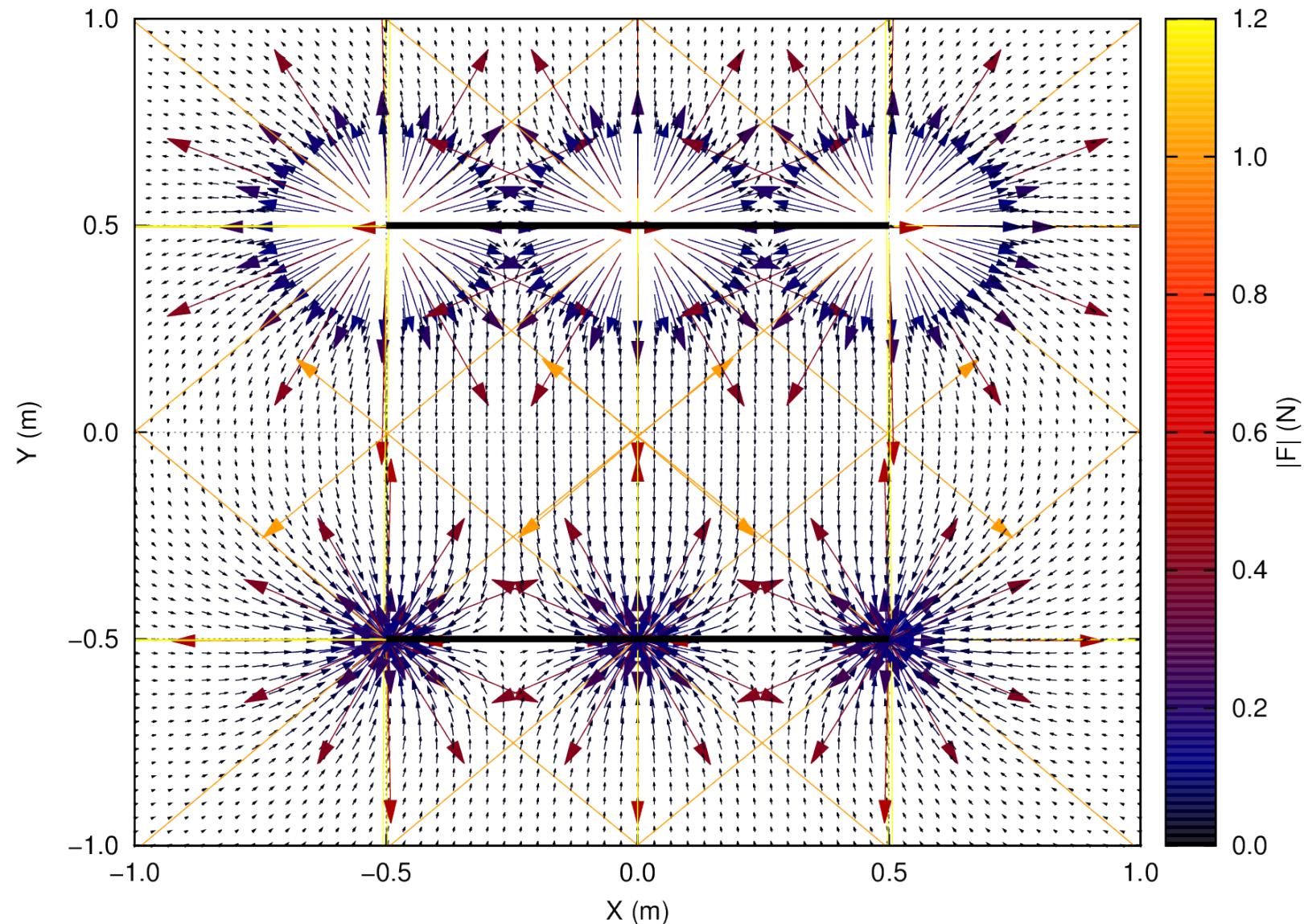
Sin carga



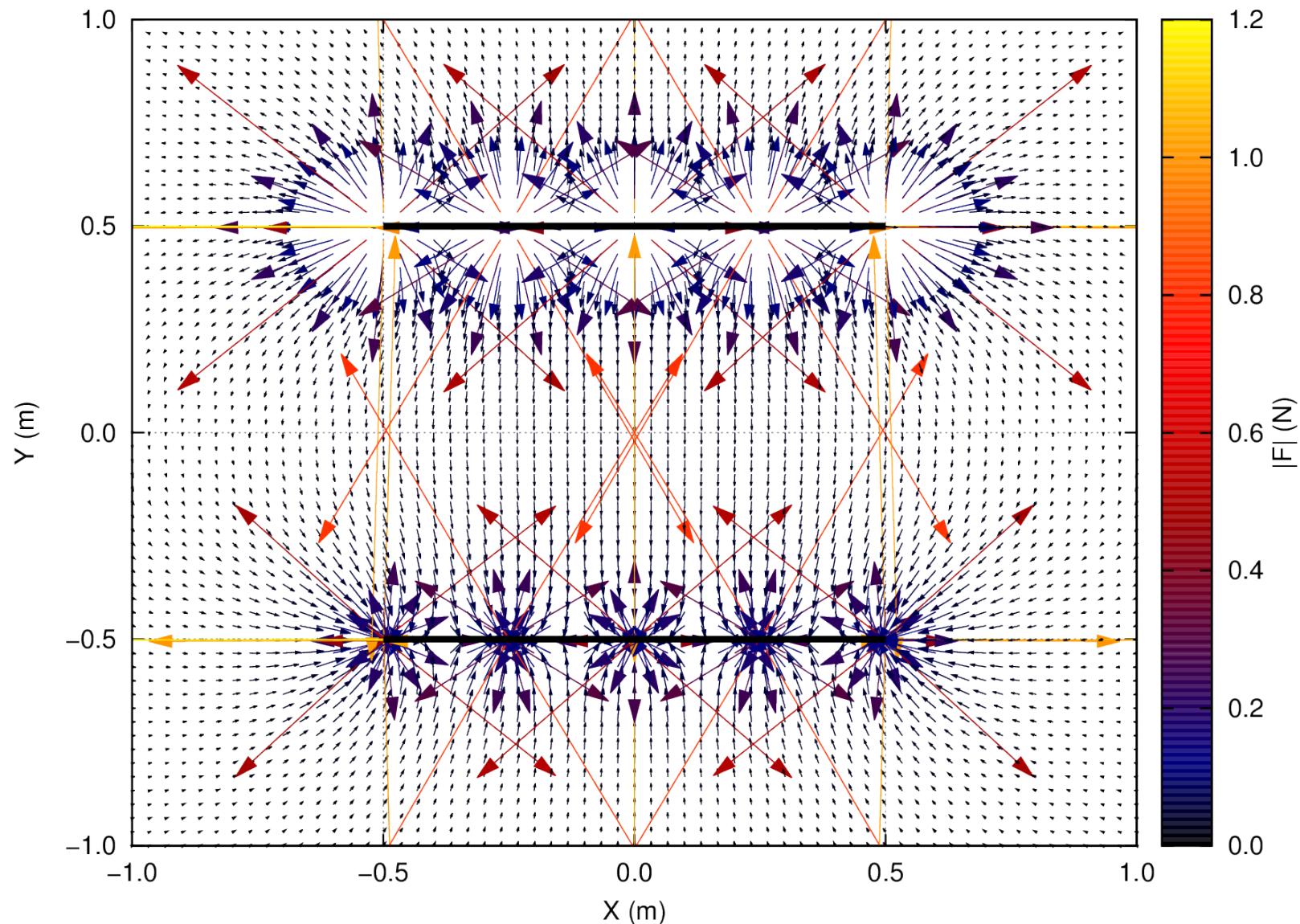
2 cargas



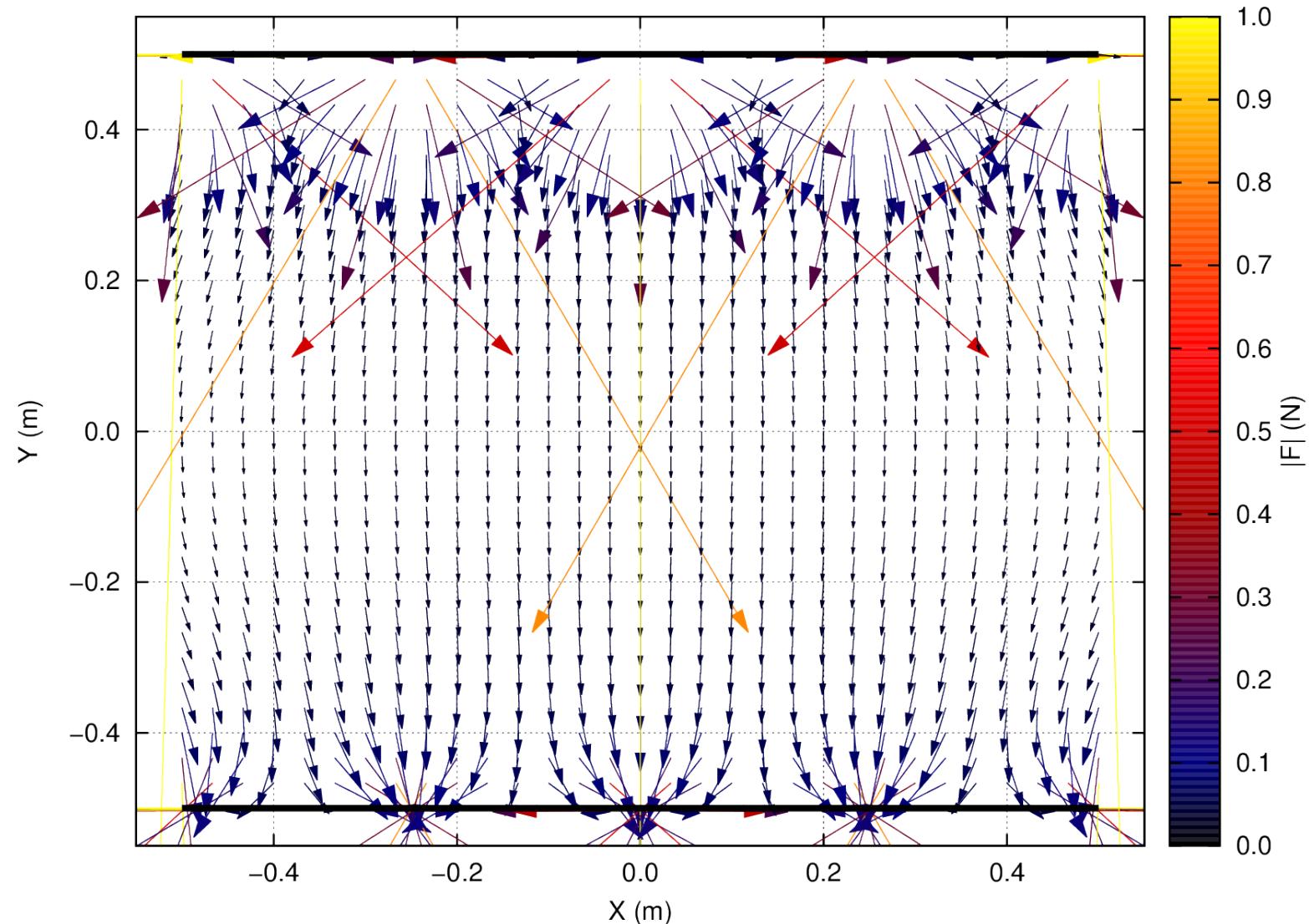
Seis cargas



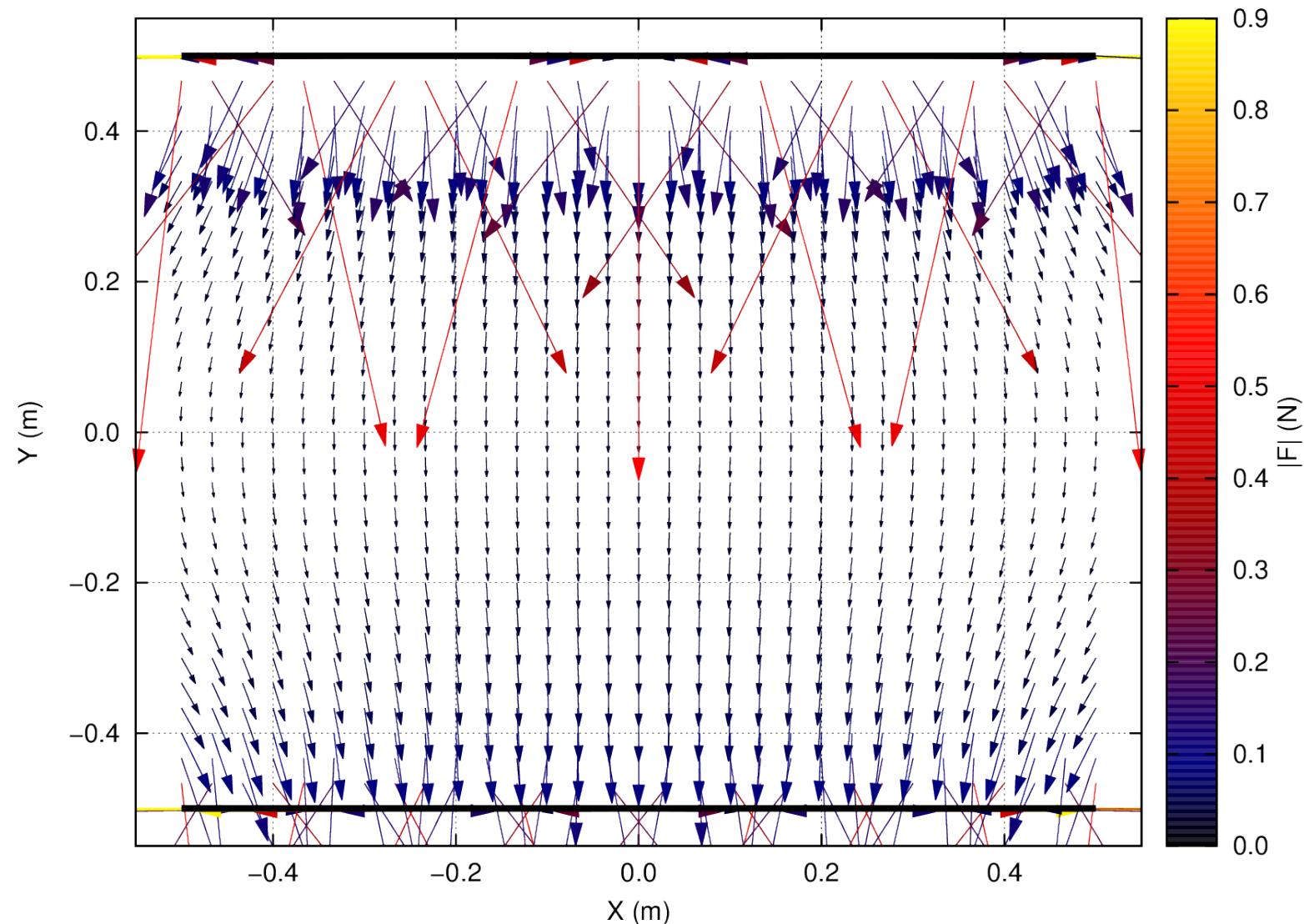
Diez cargas

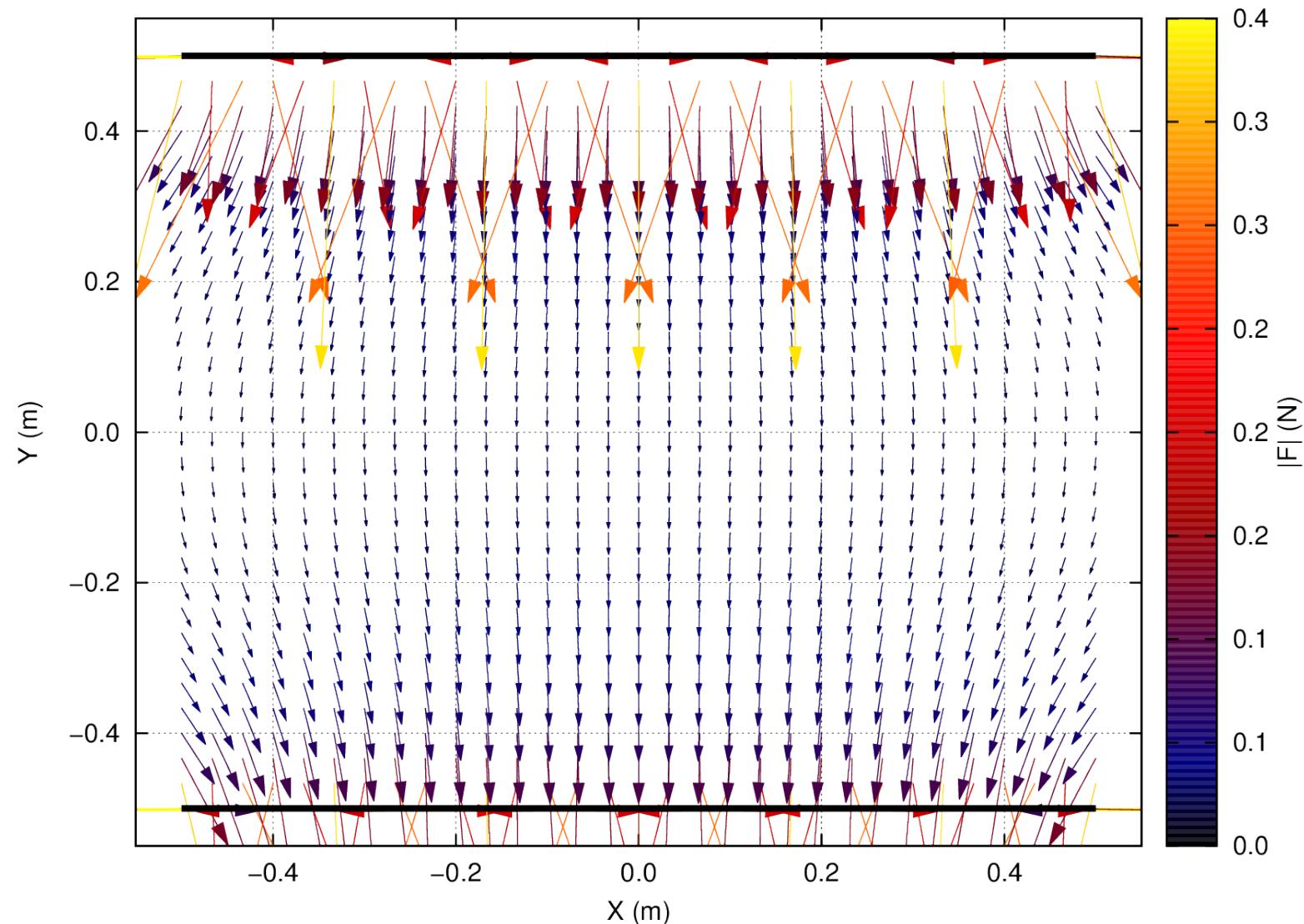


Diez cargas, zoom

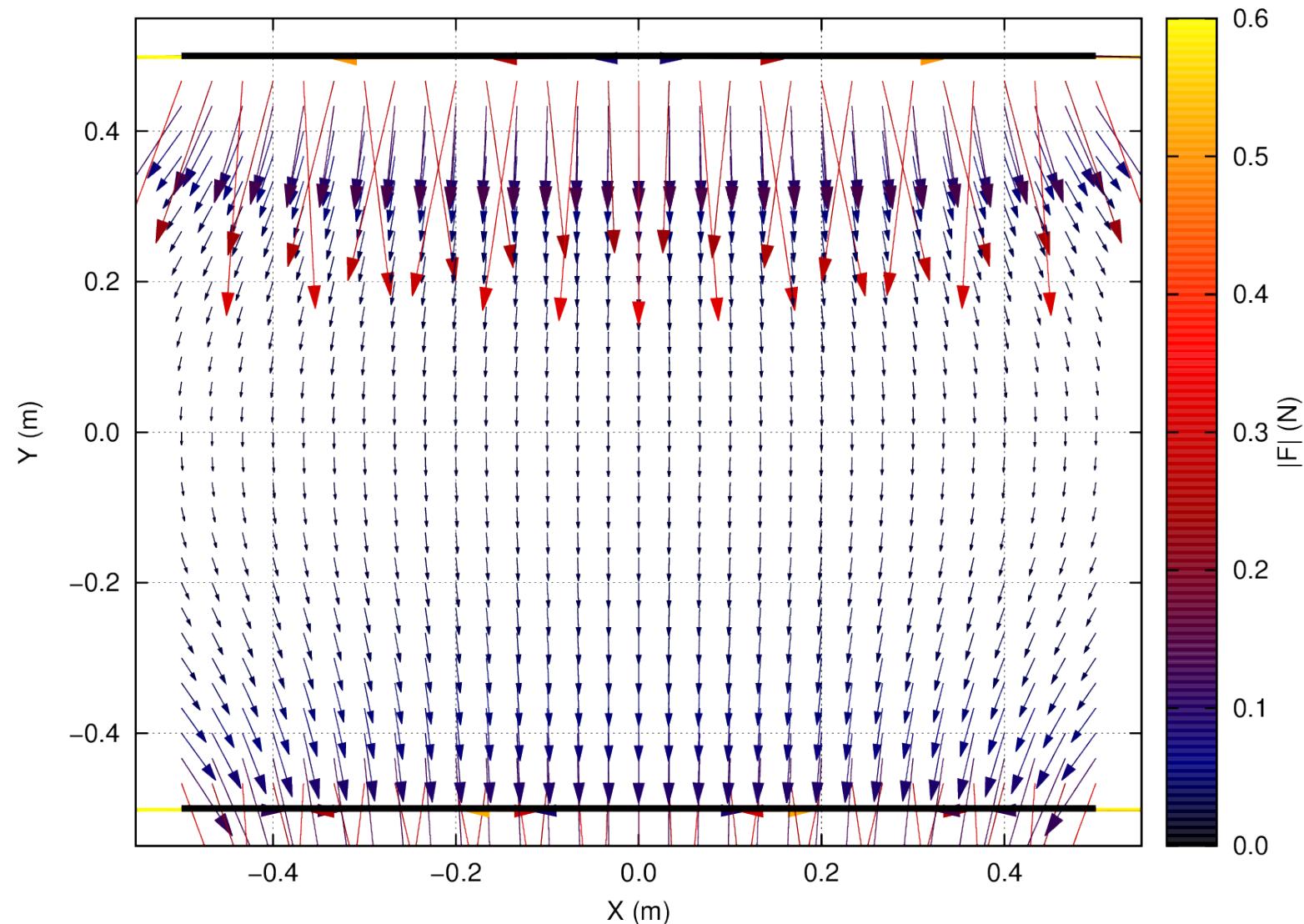


Dieciocho cargas

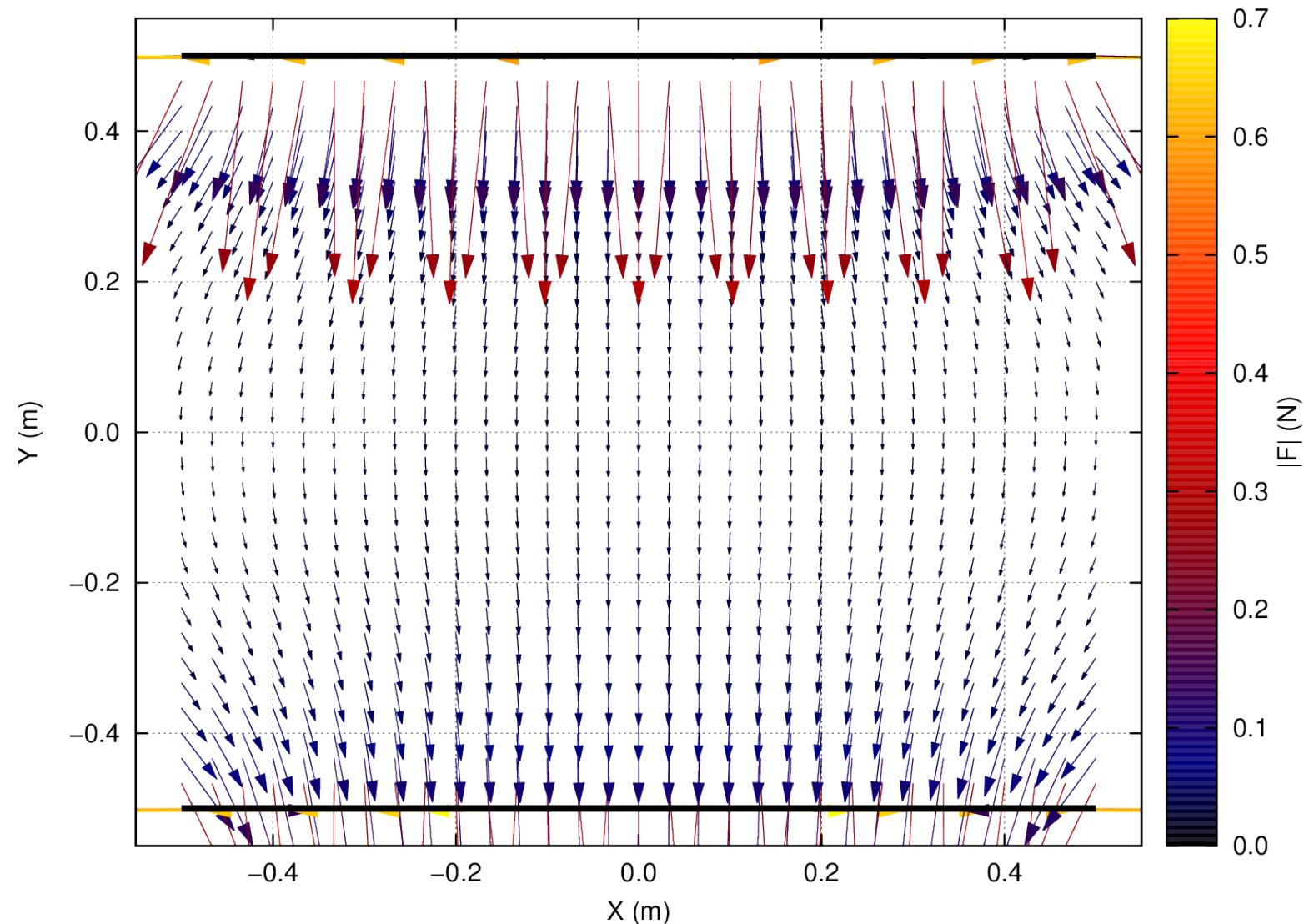




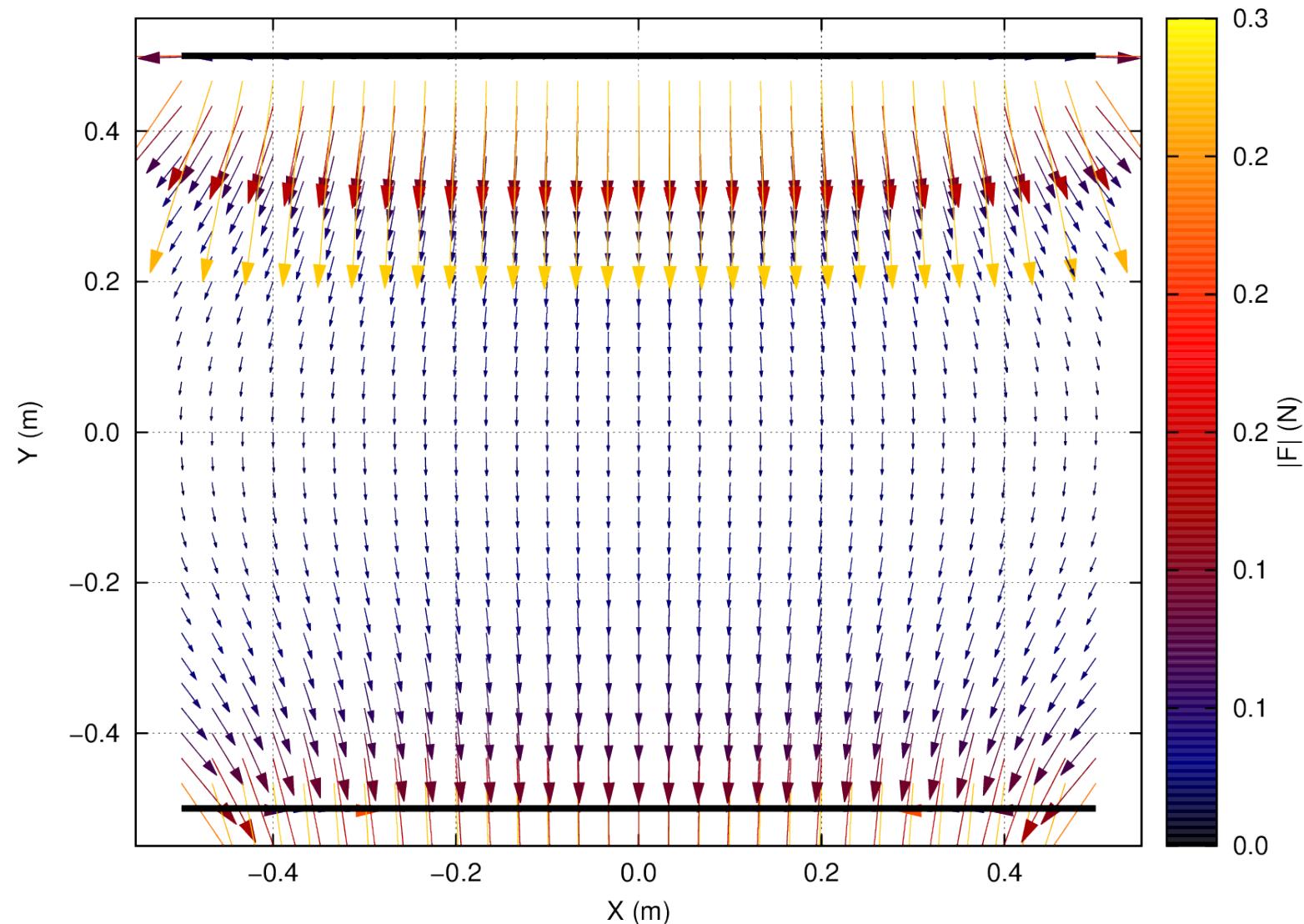
Treinta y cuatro...



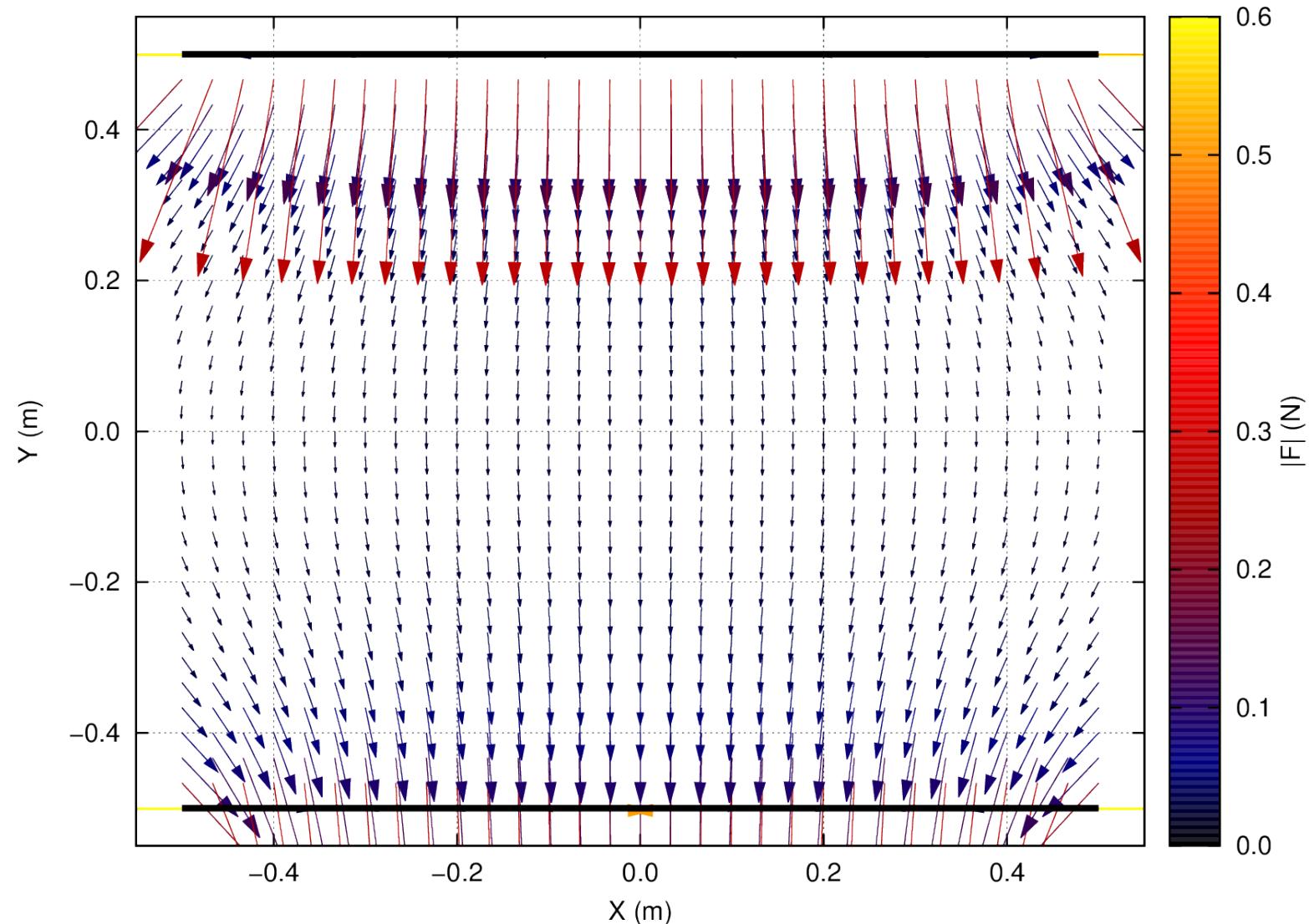
Cuarenta y dos...



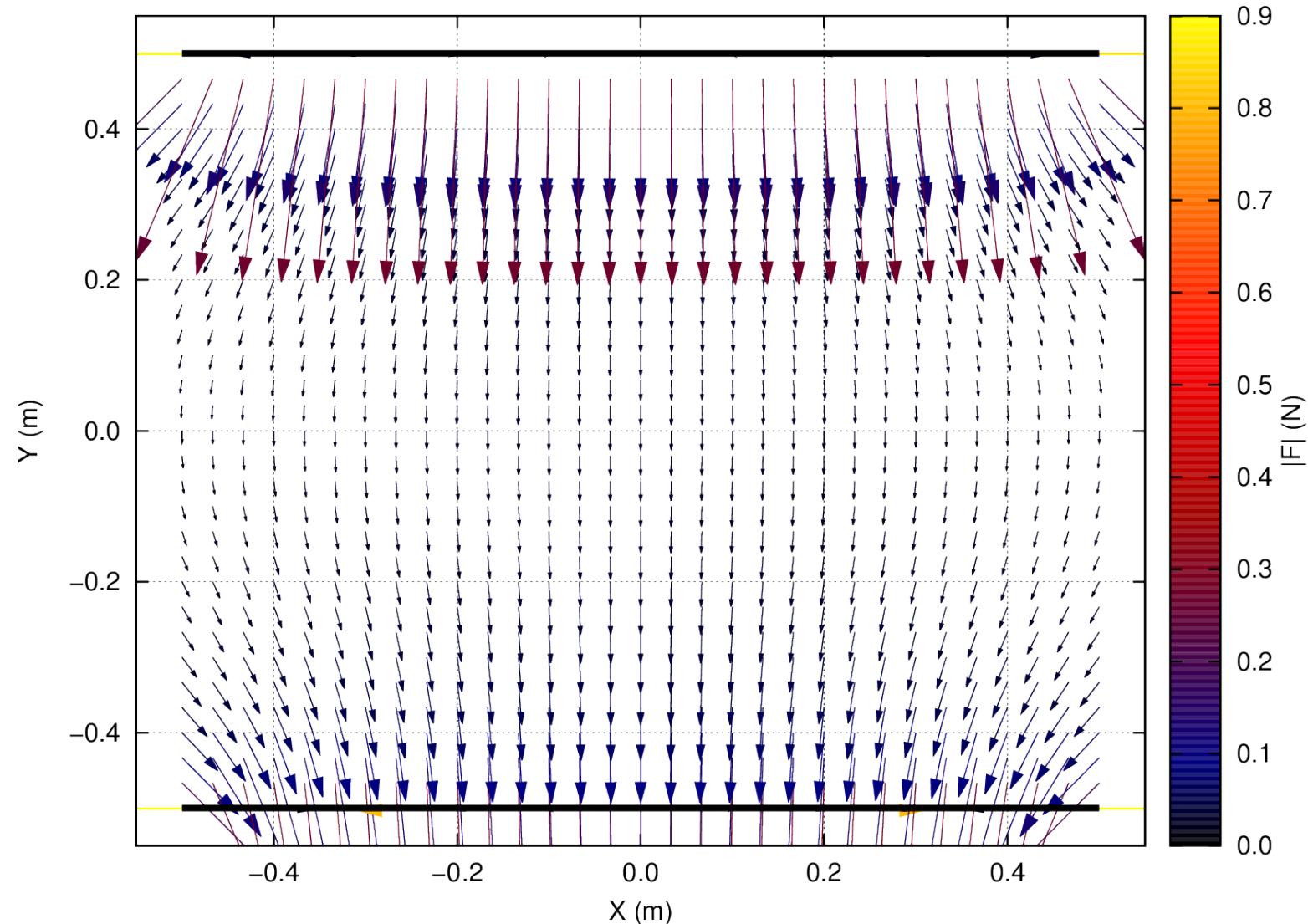
Sesenta y dos...



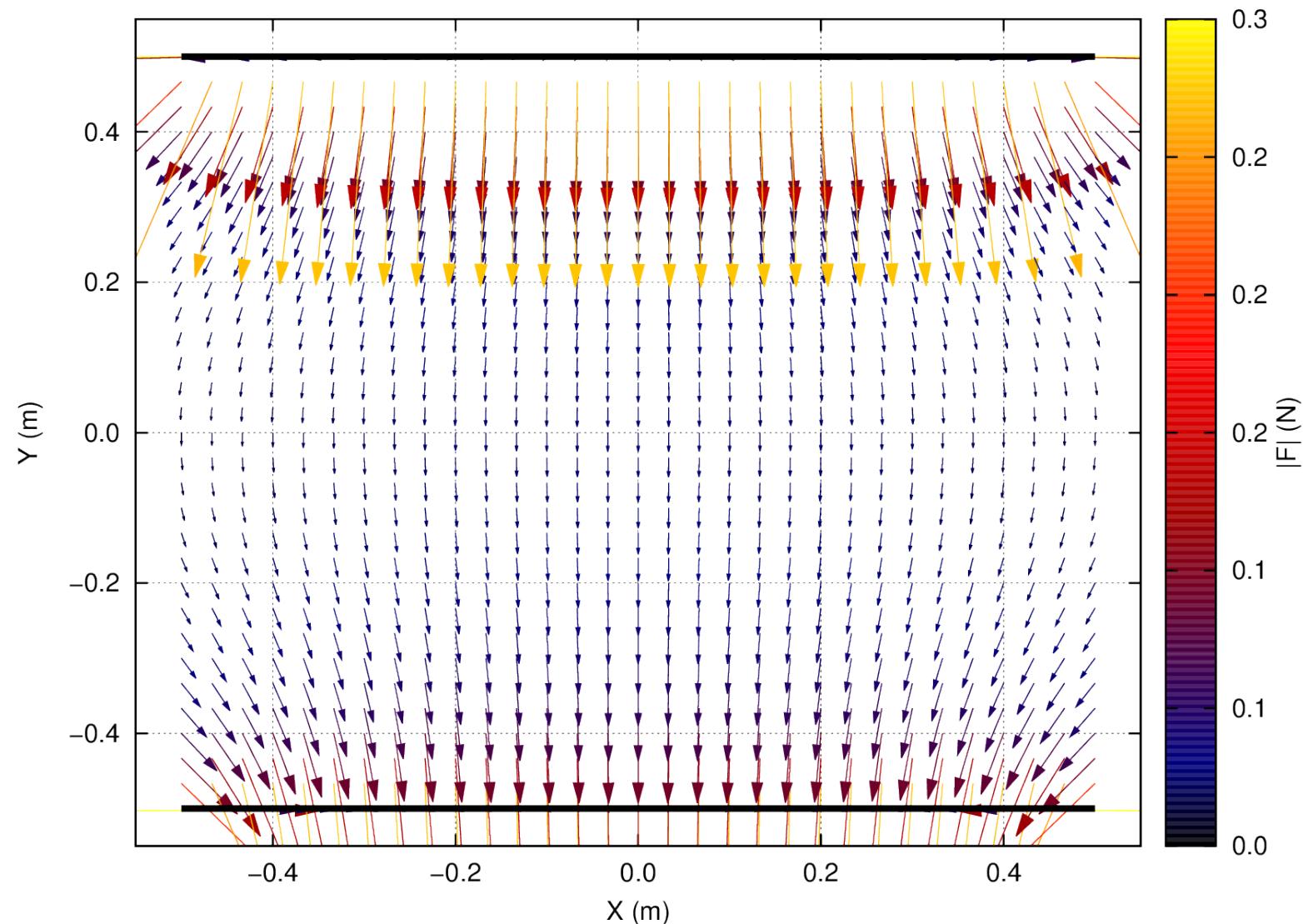
Ciento cuarenta...



Doscientas veinte

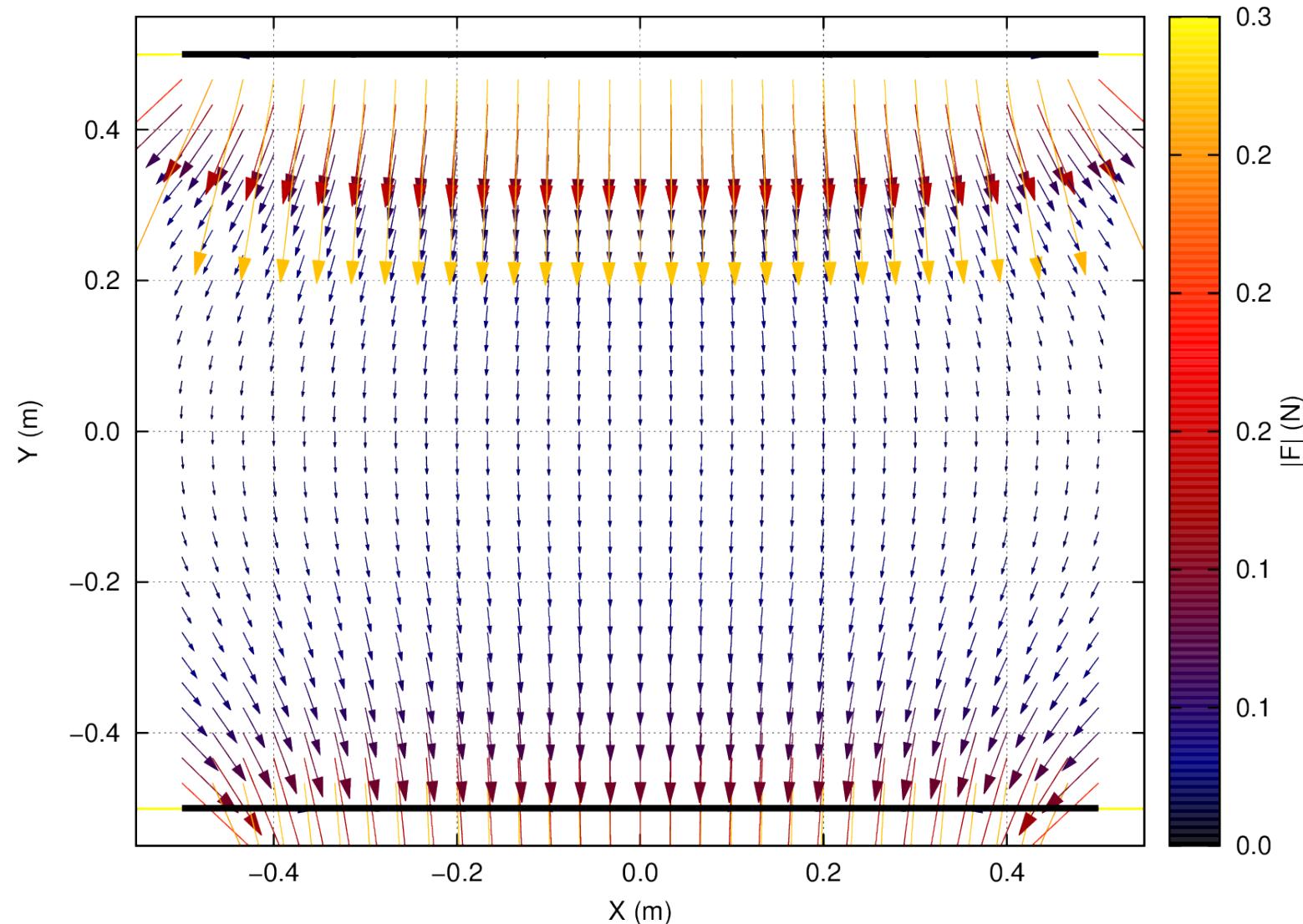


Trescientas

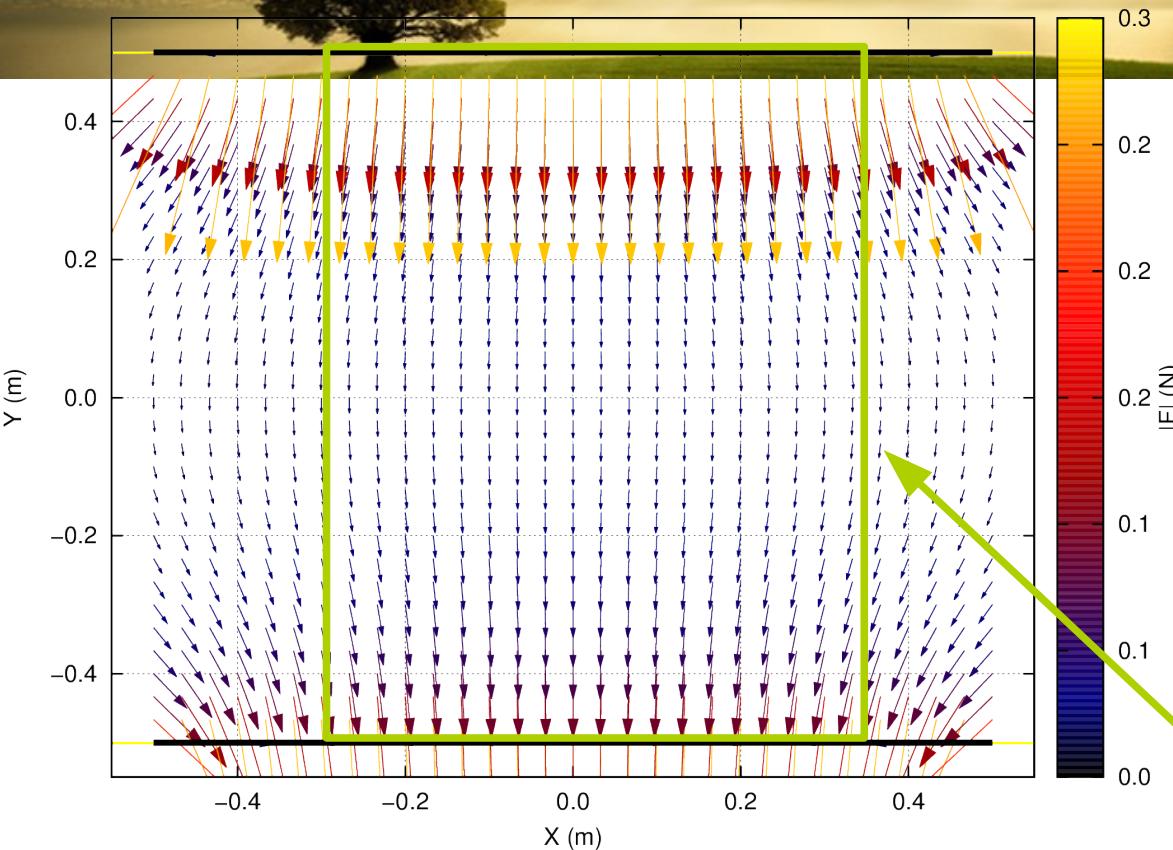




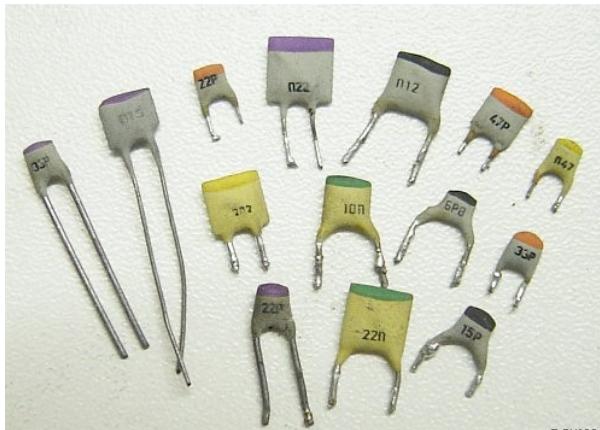
380 cargas a ~ 0.5 cm de separación...



El capacitor...



- Capacitor de placas paralelas
- Las curvas de equipotencial son líneas (planos) paralelas a las placas
- El campo eléctrico lejos de los bordes es uniforme y perpendicular a las placas



Introducción a la Física (Asorey-Sarmiento)





Electricidad en la atmósfera



Descargas atmosféricas

