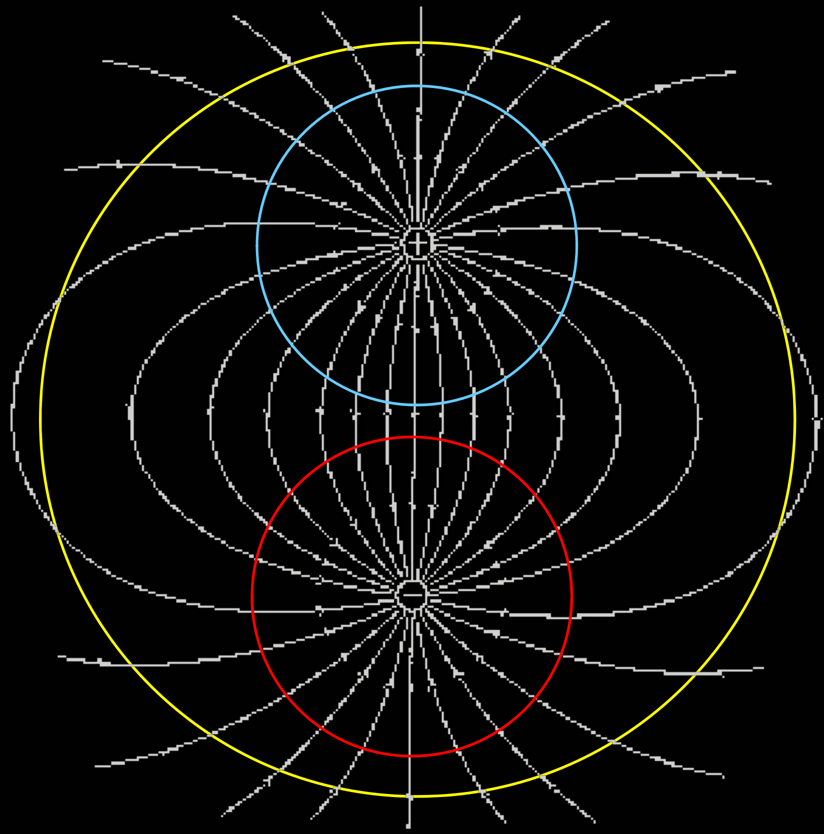
La Ley de Gauss



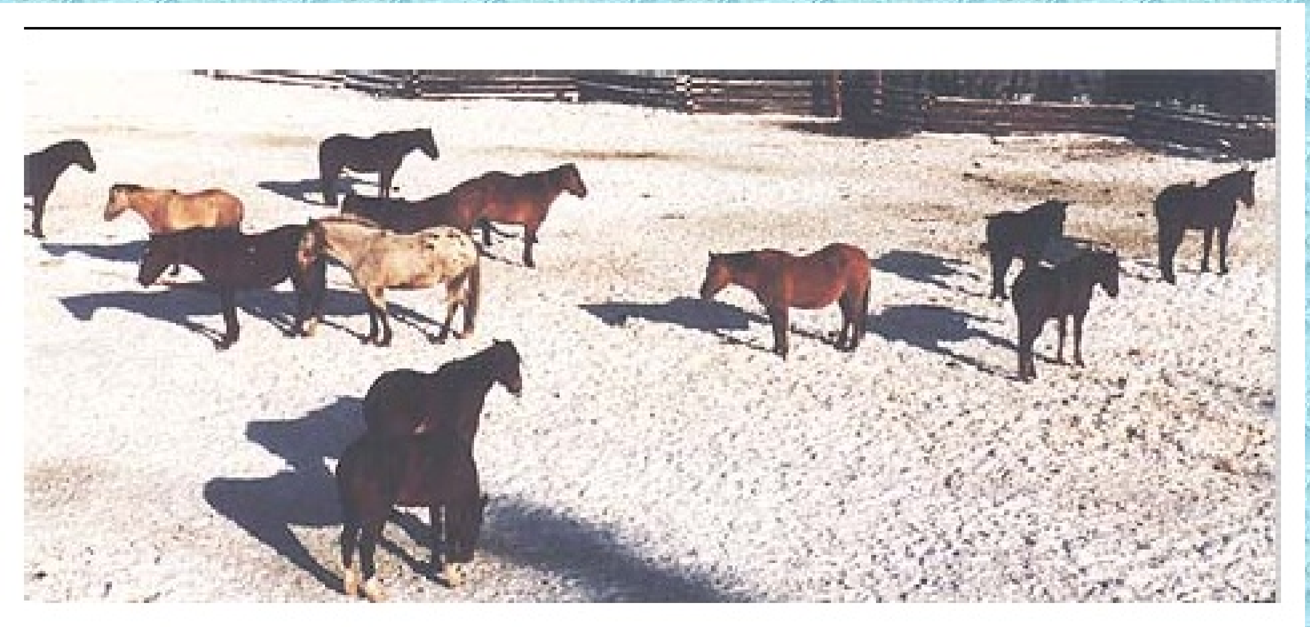
$$\varepsilon_o \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{encerrada}$$

¿Qué aprenderemos en este capítulo?

- Definición de flujo eléctrico
- Relación entre el flujo y la carga eléctrica
- La ley de Gauss y la simetría de los campos eléctricos
- Cálculo de campos con extrema simetría
- La ley de Gauss y la carga en los conductores
- Láminas de carga: dieléctricas y conductoras

Flujo

La cantidad de campo pasando a través del área de una superficie.



En este pasto congelado, cada caballo se ha orientado para maximizar el flujo de luz solar.

Pre-vuelo:

Una carga positiva es contenida dentro de una superficie esférica. Cómo cambia el flujo eléctrico $d\Phi_E$ *a través de un elemento de superficie* dS *cuando la carga se mueve de la posición 1 a la posición 2*?

a) $d\Phi_E$ incrementa

b) $d\Phi_E$ disminuye

c) $d\Phi_E$ no cambia

Pre-vuelo:

Una carga positiva es contenida dentro de una superficie esférica. Cómo cambia el flujo eléctrico Φ_E *a través de toda la superficie cuando la carga se mueve de la posición 1 a la posición 2*?

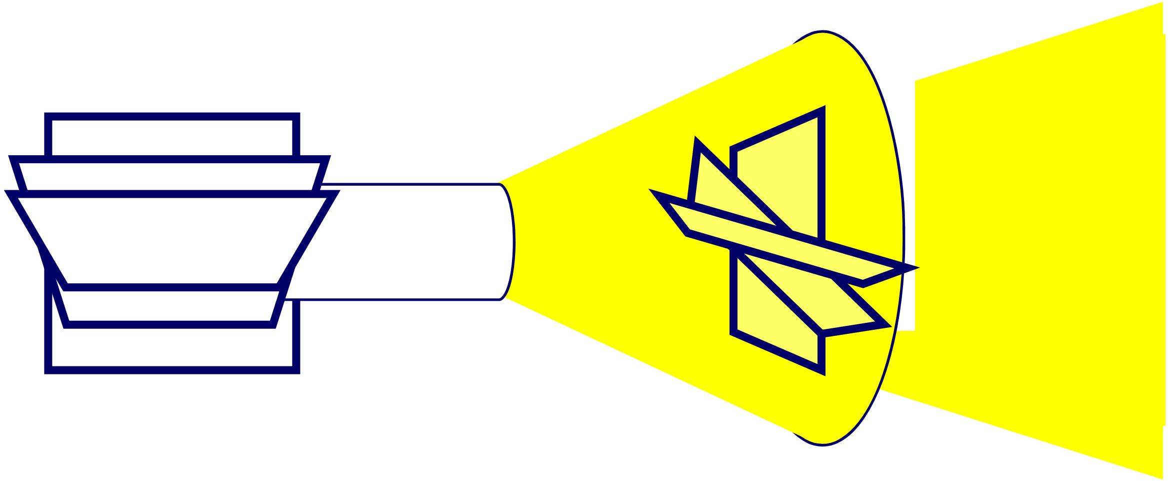
a) Φ_E incrementa

b) Φ_E disminuye

c) Φ_E no cambia

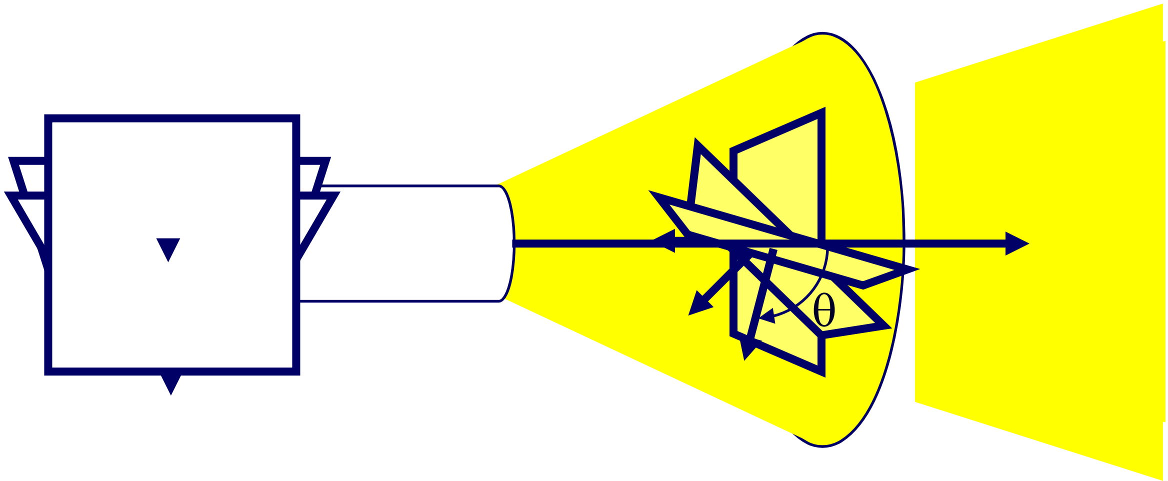
Flujo

- **El flujo en física se usa de dos formas distintas.**
  - La primera significa la rapidez de flujo, tal como la cantidad de agua que fluye en un rio.
  - La segunda significa la cantidad de energía por unidad de área y por unidad de tiempo (como es el caso de la luz).
- Veamos el caso de la luz:



El Vector Area

- El área se puede representar como un vector $\Delta\vec{A}$, su magnitud es igual al área de la superficie, y la dirección normal y "hacia afuera" de la superficie.
- El flujo a través de una superficie ΔA es proporcional al área, y al coseno del ángulo entre la dirección de la luz y la del vector área.

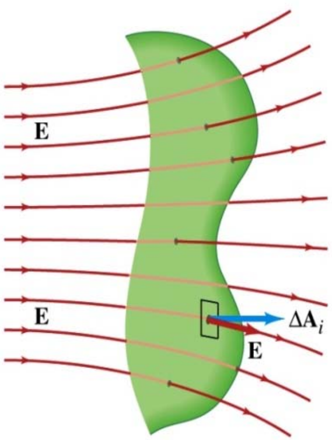


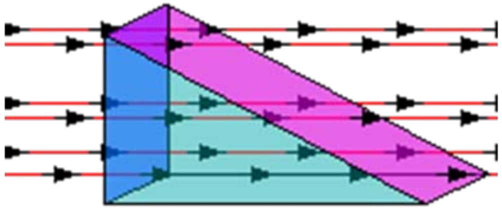
- Si usamos el vector $\vec{L}$ para representar la energía por unidad de área y por unidad de tiempo, entonces la luz que pasa por el agujero es.

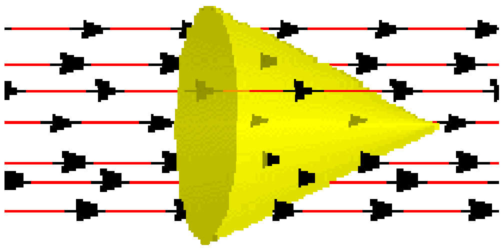
$$L\Delta A\cos\theta = \vec{L}\cdot\Delta\vec{A}$$

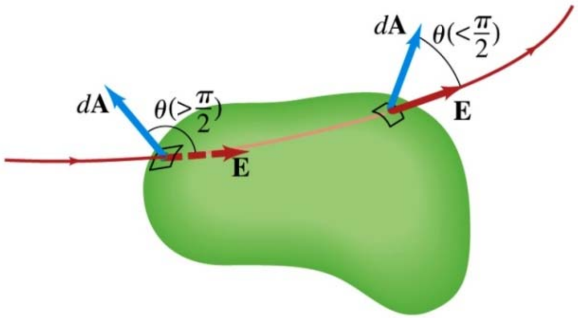
En este caso $(\theta > 90°)$ lo que significa que el flujo está entrando al agujero.

El Flujo de Campo Eléctrico (ϕ_E)





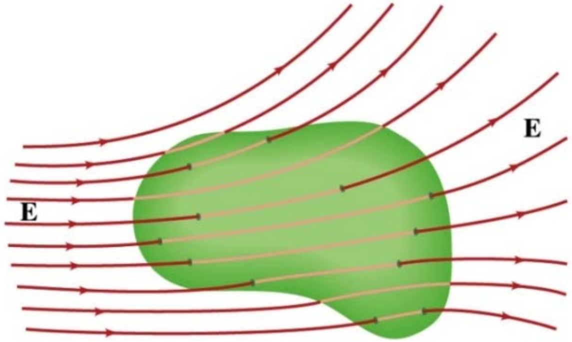




El flujo eléctrico puede ser positivo, negativo, o cero.

El flujo eléctrico representa el número de líneas de campo que atraviesan una superficie.

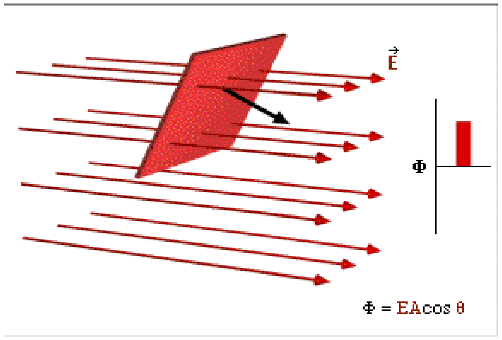
Si una superficie cerrada NO encierra *carga neta*, el flujo a través de ella será cero.

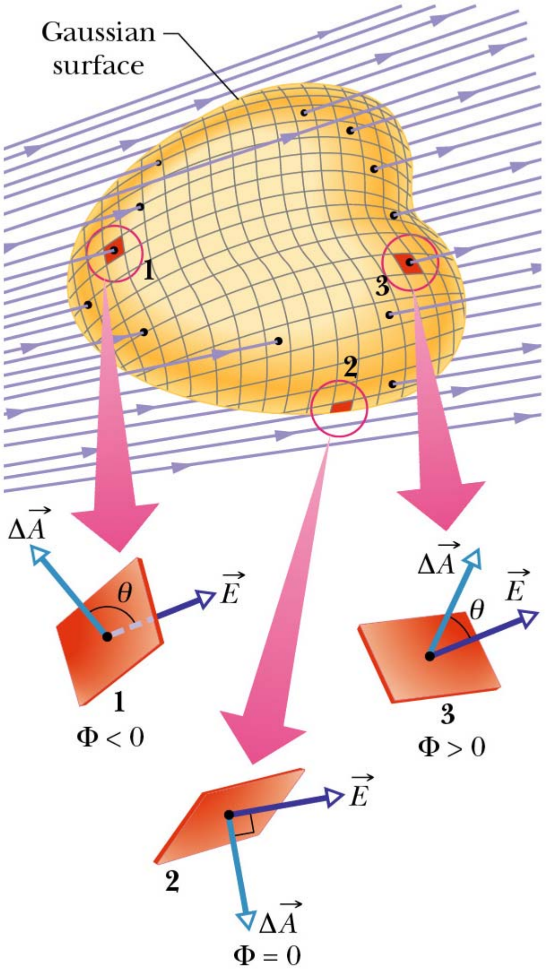


El Flujo de Campo Eléctrico

- Igual que el flujo de agua, o energía luminosa, se puede pensar al campo eléctrico como fluyendo a través de una superficie (aunque en este caso nada se está moviendo).
- El flujo eléctrico se representa como Φ (letra griega phi), el flujo eléctrico a través de un elemento de área ΔA es

$$\Delta\Phi = \vec{E}\cdot\Delta\vec{A} = E\,\Delta A\cos\theta$$

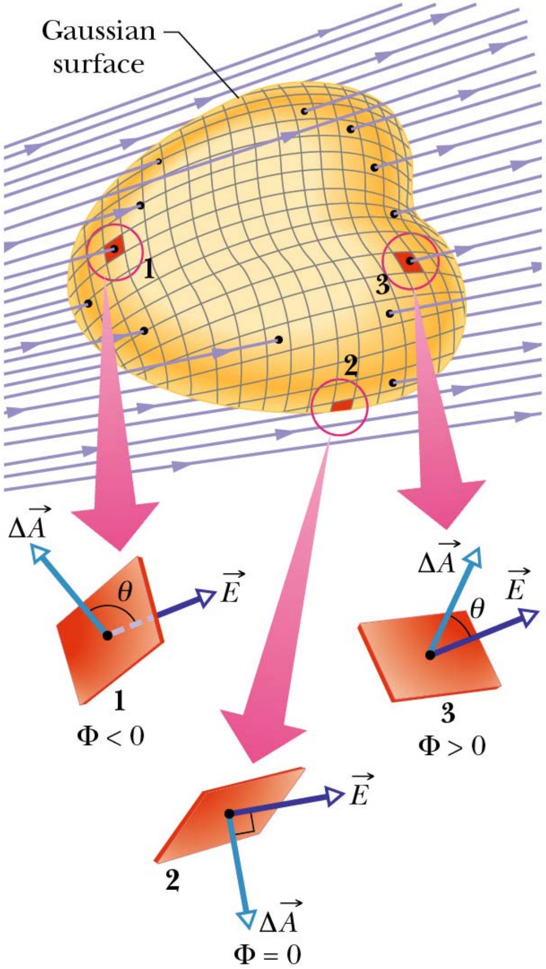




El Flujo de Campo Eléctrico

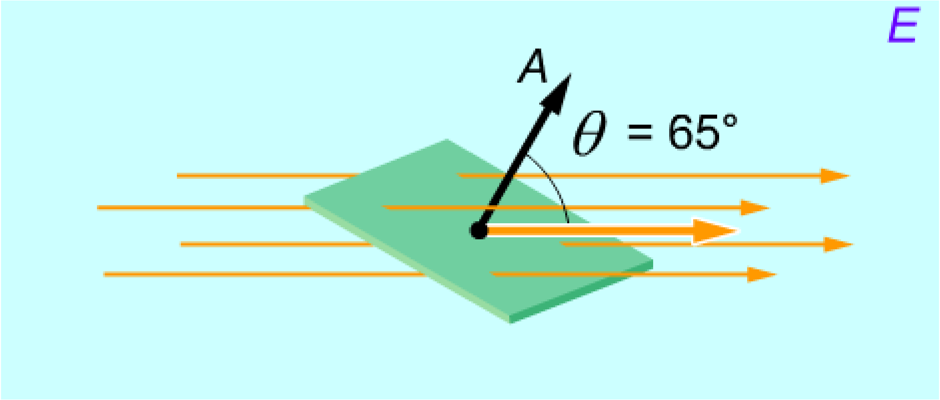
- cuando $\theta < 90^\circ$, el flujo es positivo (hacia fuera de la superficie), y cuando $\theta > 90^\circ$, el flujo es negativo.
- **Cuando tenemos superficies complicadas, podemos dividir la superficie en diferenciales de áreas:**

$$d\Phi = \vec{E}\cdot d\vec{A} = E\,dA\cos\theta$$



El producto escalar es el "modelo matemático" que calza perfecto en la definición del flujo

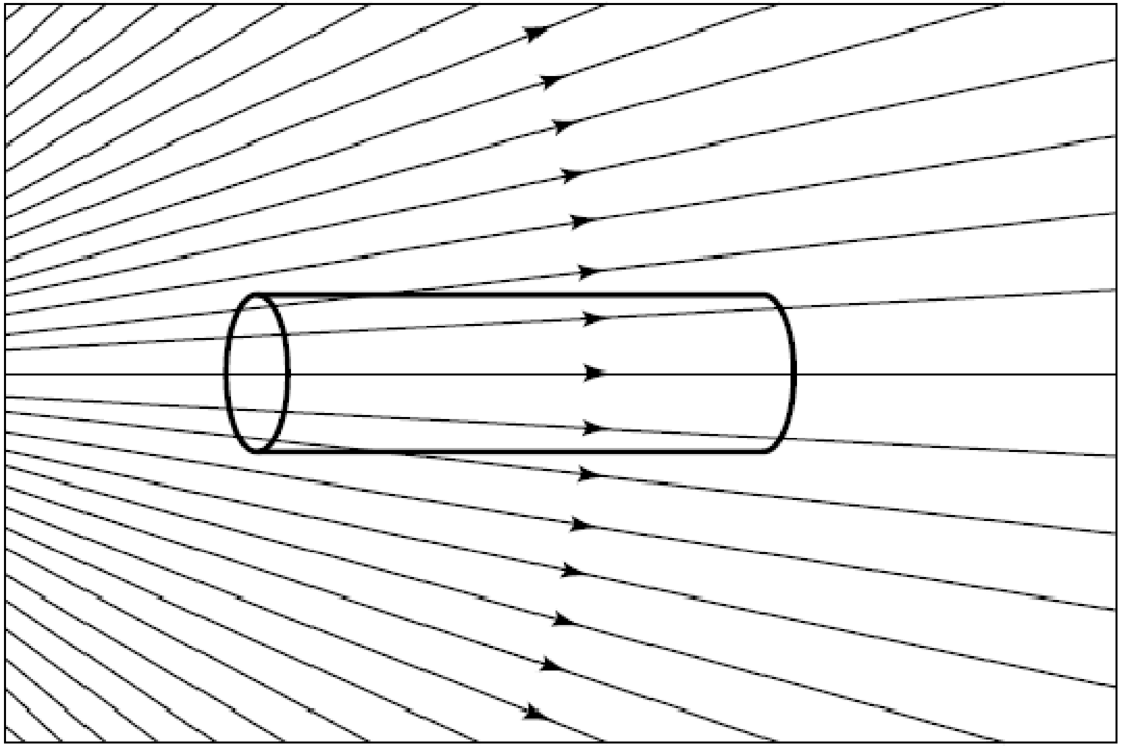
PREGUNTA DE CONCEPTO



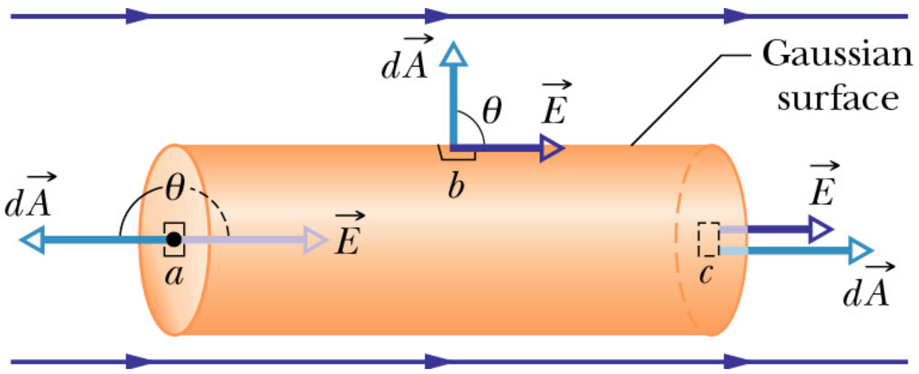
Un campo eléctrico uniforme llena una región del espacio. Un pedazo de papel cuadrado de 7.80 cm por lado se coloca en este campo de tal forma que el vector área hace un ángulo de 65.0° con el campo eléctrico. El flujo a través del papel es de 1.77×10^3 $N \cdot m^2/C$. ¿cuál es la magnitud del campo eléctrico?

A cylindrical piece of insulating material is placed in an external electric field, as shown. The net electric flux passing through the surface of the cylinder is

1. positive.
2. negative.
3. zero.



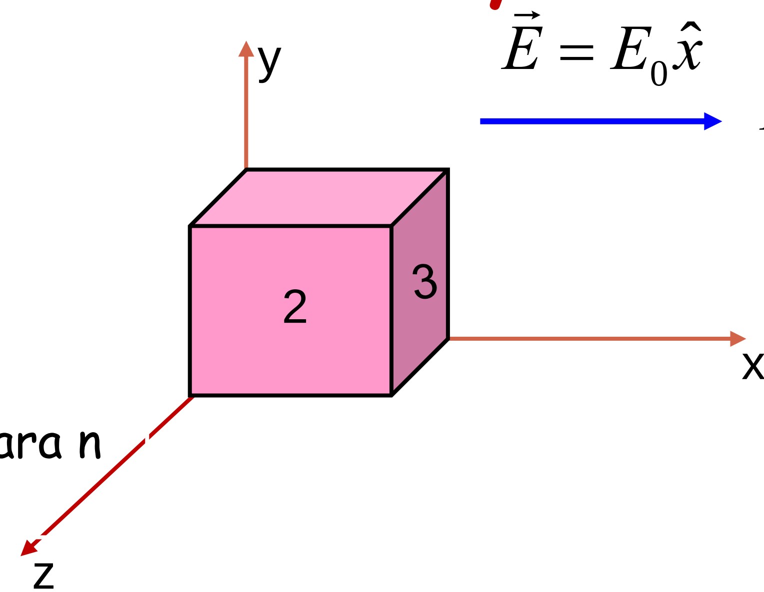
Un campo eléctrico uniforme llena una región del espacio. Un cilindro de papel se coloca en este campo. ¿Cuál es el valor del flujo eléctrico a través del cilindro?



Cubo en un Campo Constante y Uniforme

Cubo de lado a
Superficies:

1: x = 0
2: z = +a
3: x = +a



Defina Φ_n = Flujo a través de la cara n
Φ = Flujo a través del cubo

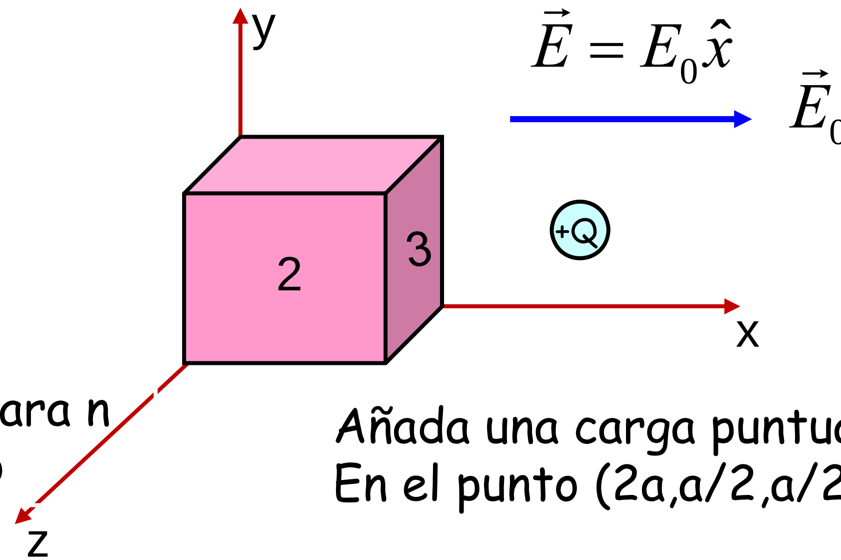
A ☐ $\Phi_1 < 0$	A ☐ $\Phi_2 < 0$	A ☐ $\Phi_3 < 0$	A ☐ $\Phi < 0$
B ☐ $\Phi_1 = 0$	B ☐ $\Phi_2 = 0$	B ☐ $\Phi_3 = 0$	B ☐ $\Phi = 0$
C ☐ $\Phi_1 > 0$	C ☐ $\Phi_2 > 0$	C ☐ $\Phi_3 > 0$	C ☐ $\Phi > 0$

Cubo en un campo E y una Carga + Q

Cube of side a
Label faces:

1: x = 0
2: z = +a
3: x = +a

$$\vec{E} = E_0 \hat{x}$$



Defina Φ_n = Flujo a través de la cara n
Φ = Flujo a través del cubo

Añada una carga puntual **+Q**
En el punto (2a,a/2,a/2)

¿Cómo cambia el flujo?

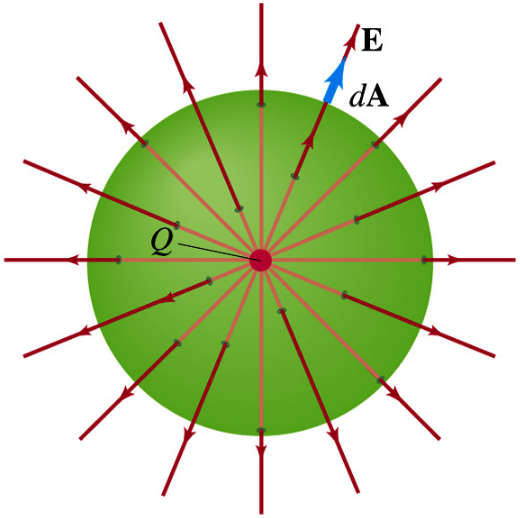
A ☐ Φ_1 increases
B ☐ Φ_1 decreases
C ☐ Φ_1 remains same

A ☐ Φ_3 increases
B ☐ Φ_3 decreases
C ☐ Φ_3 remains same

A ☐ Φ increases
B ☐ Φ decreases
C ☐ Φ remains same

El Flujo Eléctrico y la Carga Neta

Calculemos el flujo eléctrico a través de una esfera de radio r, generado por una carga puntual Q



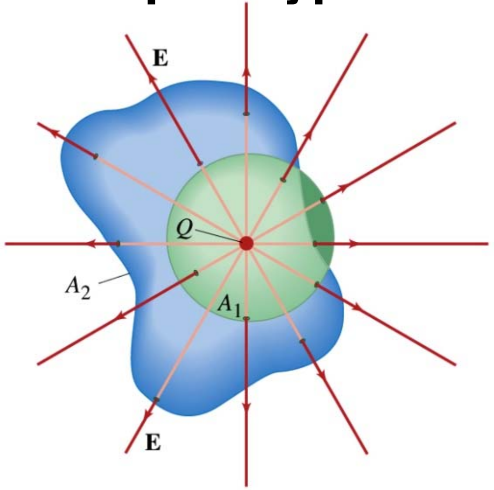
$$\Phi_E = \oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \oint E dA \cos 0^o$$

$$\Phi_E = E\oint dA = E(4\pi r^2)$$

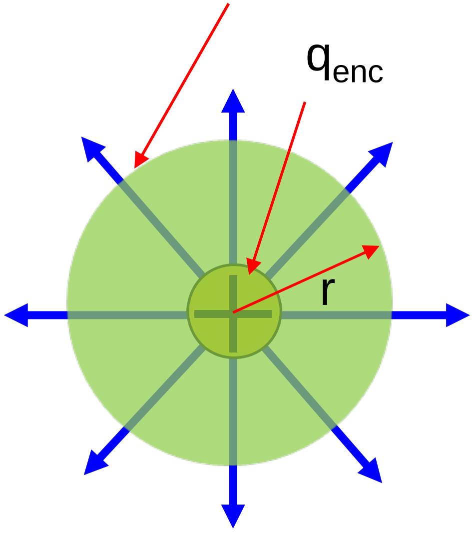
$$\Phi_E = \left[\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}\right](4\pi r^2) = \frac{Q}{\varepsilon_o}$$

***E* tiene el mismo valor en cada punto de la superficie y podemos tomar *E* fuera de la integral!**

$\vec{E}\cdot d\vec{A} = E\, dA$



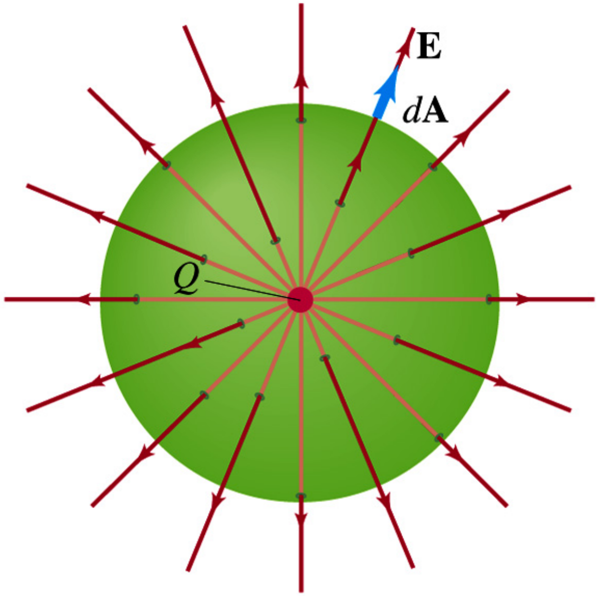
Si bien es cierto que el cálculo fue realizado para una esfera, este valor del flujo es igual para cualquier superficie cerrada que contenga la carga Q

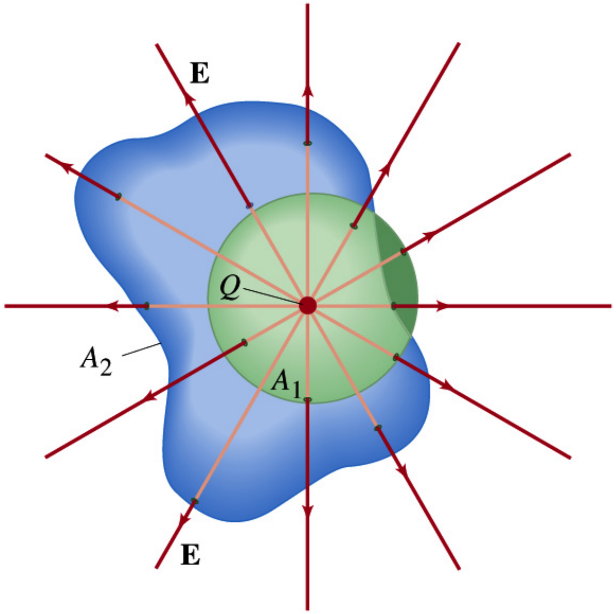


$$\Phi_E = \left[\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{Q}{r^2} \right] (4\pi r^2) = \frac{Q}{\varepsilon_o}$$

Esto significa que de cada carga Q, emanan Q/ε_o líneas de campo

Si la superficie es cerrada, entonces, el número de líneas que emanan de las cargas, $\left(\frac{Q}{\varepsilon_o}\right)$, debe ser igual al número de líneas que atraviesan la superficie cerrada (Φ_E)

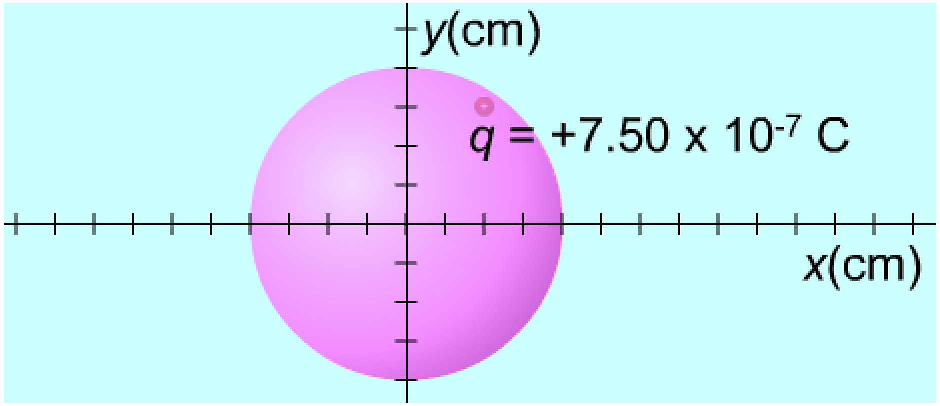




$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{neta}}{\varepsilon_o}$$

$$\varepsilon_o \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q_{neta}$$

PREGUNTA DE CONCEPTO



Una esfera de radio 4.00 cm está centrada en el erigen. Una carga puntual de $+7.50\times10^{-7}$ C se coloca dentro de la esfera en el punto (2.0, 3.0, 0.0) cm. ¿Cuál es el flujo eléctrico a través de la superficie de la esfera?

La Ley de Gauss

- **Ley de Gauss (una LEY FUNDAMENTAL):**

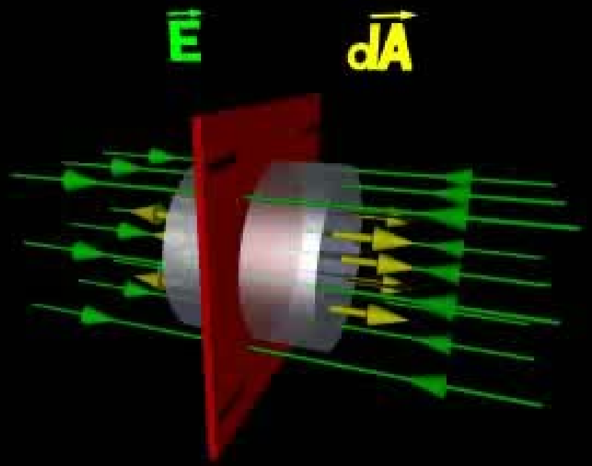
  El flujo eléctrico neto a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga eléctrica neta encerrada por la superficie.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \bullet d\vec{S} = \oint \vec{E} \bullet d\vec{A} = \frac{q_{encerrada}}{\varepsilon_o}$$

- **¿Cómo usamos esta ecuación?**
  - **La ecuación es *SIEMPRE VERDADERA* pero no es fácil de usar.**
  - **Es muy útil para encontrar E cuando las condiciones físicas presentan extrema *SIMETRÍA*.**

La ley de Gauss...lo hace fácil

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \bullet d\vec{S} = \frac{q_{encerrada}}{\varepsilon_o}$$



©2007 Yves Pelletier (http://web.ncf.ca/ch865)

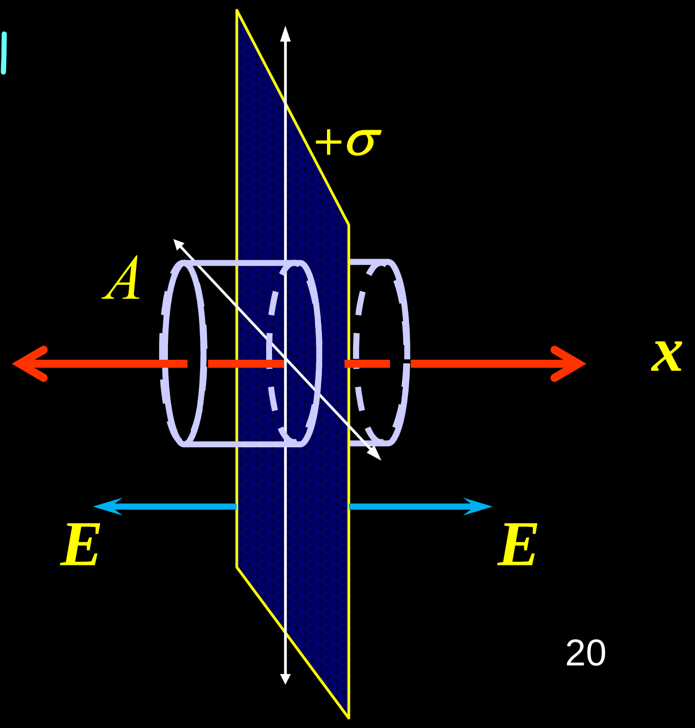
Para resolver la ecuación de arriba para E, usted tiene que ESCOGER UNA SUPERFICIE CERRADA tal que su integral sea fácil de evaluar (trivial).

Dirección: la superficie se debe escoger de tal forma que E sea paralelo o perpendicular a cada pedazo de superficie.

$$Si\ \vec{E} \perp d\vec{S} \quad \Rightarrow \quad \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$$

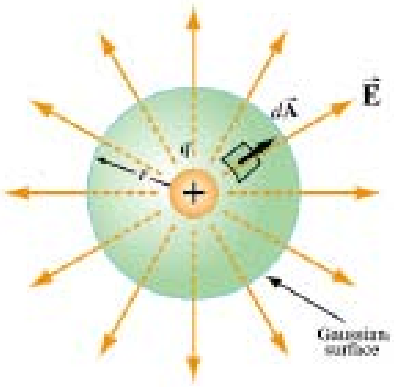
$$Si\ \vec{E}\ //\ d\vec{S} \quad \Rightarrow \quad \vec{E} \cdot d\vec{S} = E\,dS$$

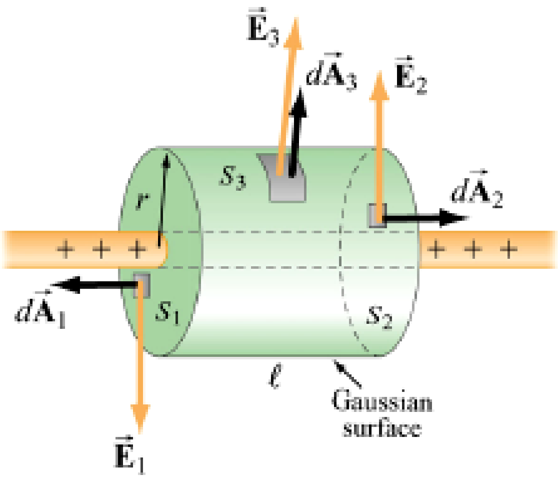
Magnitud: la superficie debe ser escogida de tal forma que E tenga siempre el mismo valor para todos los puntos sobre la superficie.

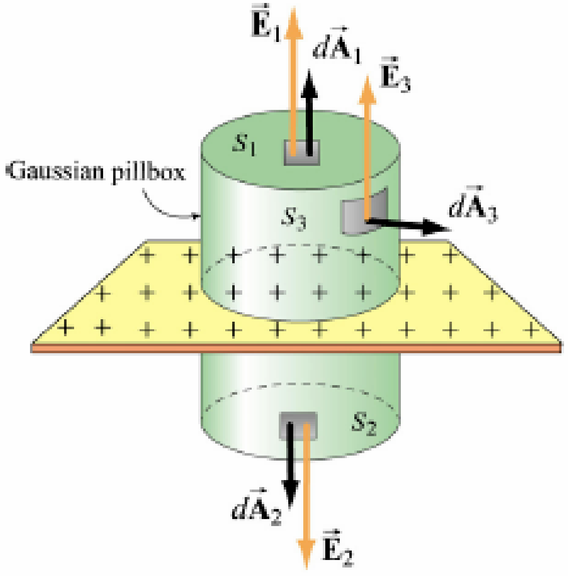


SUPERFICIES GAUSSIANAS NO MUY ÚTILES

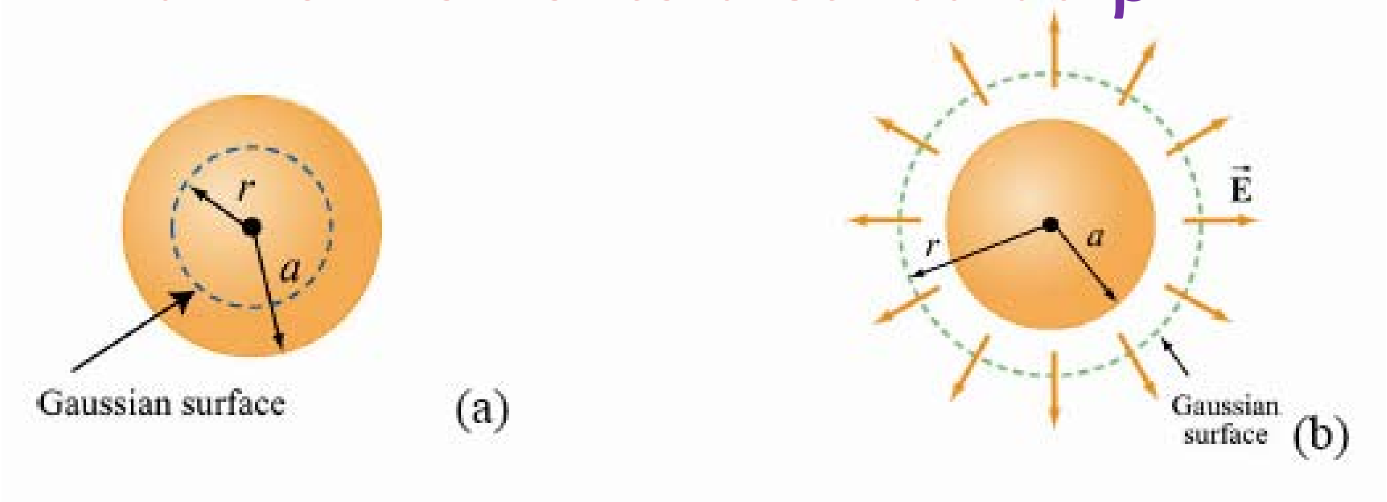
SUPERFICIES GAUSSIANAS MUY ÚTILES







Ejemplo: Esfera dieléctrica con carga uniformemente distribuída ρ



- *Cuando r >a*, la carga neta encerrada es Q, en consecuencia

Por simetría, el campo E es en todo punto radial desde el centro de la esfera.

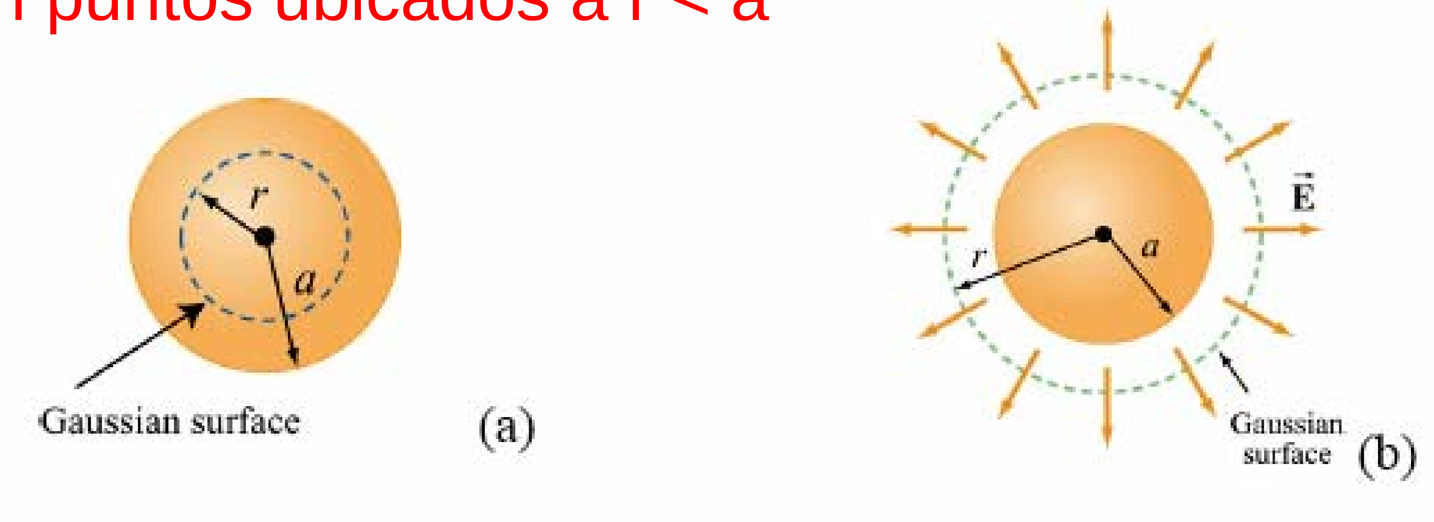
Use una superficie gaussiana, la que sea perpendicular a ***E*** en cualquier punto.

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \varepsilon_0 E(4\pi r^2) = Q$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

Ley de Coulomb

Campo en puntos ubicados a r < a



Aquí tenemos una esfera con carga uniformemente distribuida a través de todo su volumen. Si la carga total de la esfera es Q, y el radio de ella es *a,* entonces la ***densidad volumétrica de carga*** es

$$\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi a^3} \quad \mathrm{C/m^3}$$

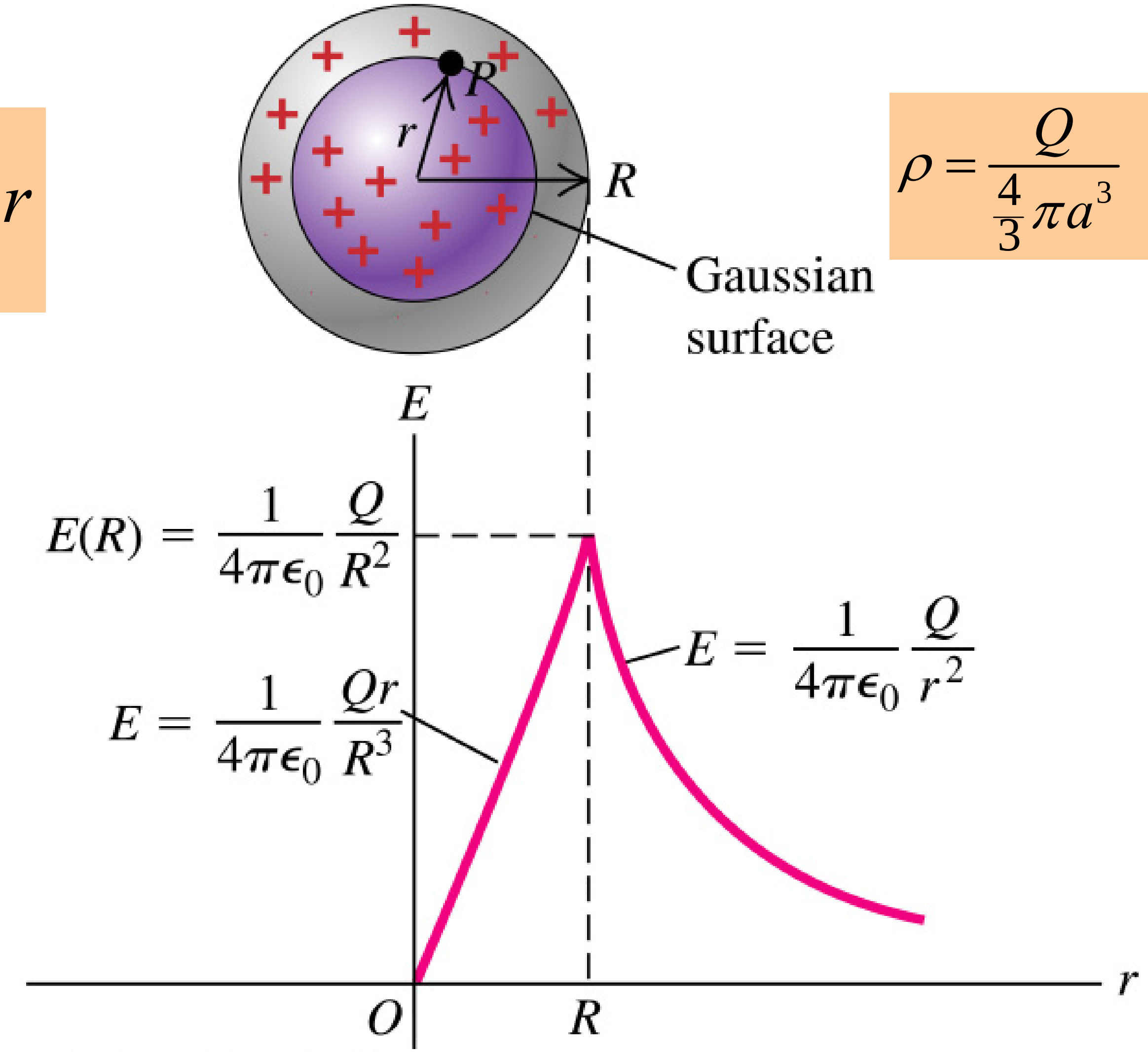
El vector área $\vec{A}$ es paralelo a $\vec{E}$, y el área total es $4\pi r^2$ de tal forma que cuando la superficie gaussiana tiene un radio r < *a*, tenemos

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \varepsilon_0 E(4\pi r^2) = \rho \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\boxed{E = \frac{\rho}{3\varepsilon_0} r}$$

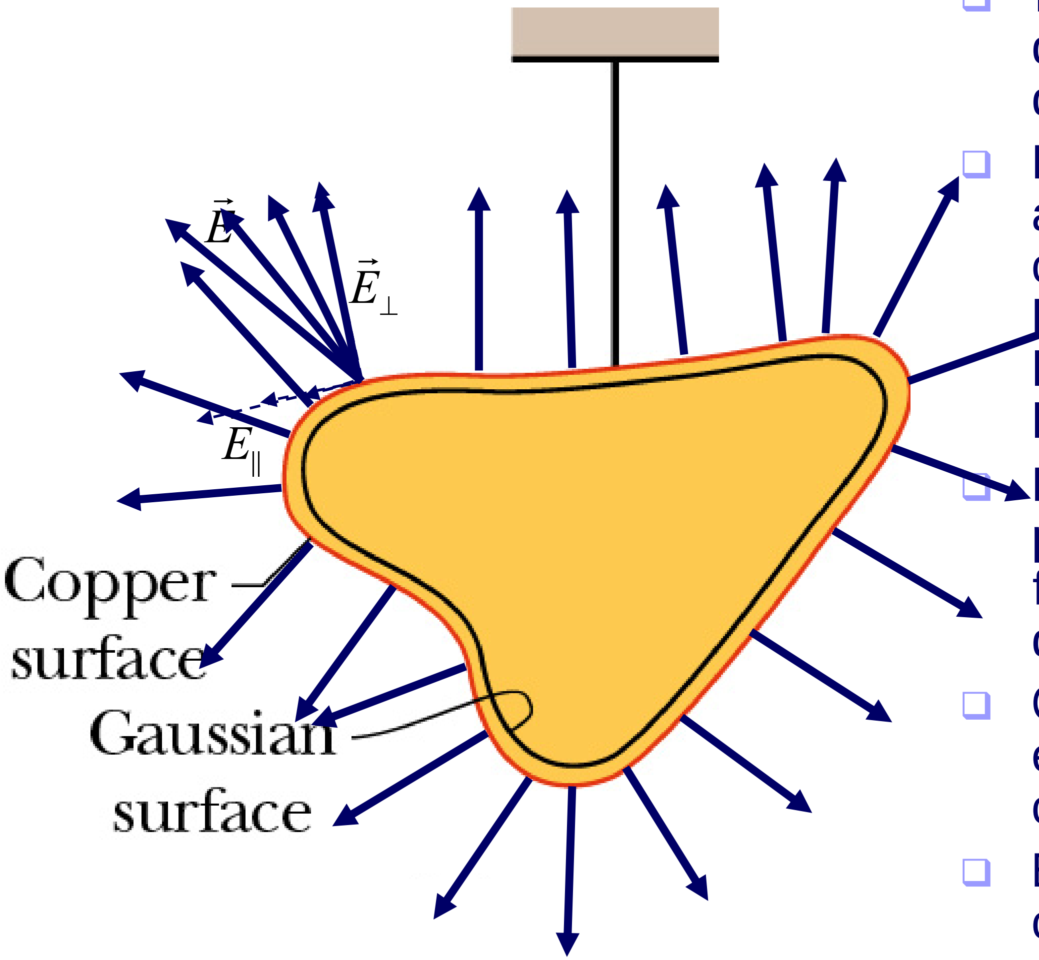
Esfera Dieléctrica Uniformemente cargada: Resumen

$$E = \frac{\rho}{3\varepsilon_0} r$$



$$\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi a^3} \quad \mathrm{C/m^3}$$

Campo en la Superficie de un Conductor



- Imagine un campo eléctrico en una dirección arbitraria en la superficie de un conductor.
- Hay una componente perpendicular a la superficie, de tal forma que las cargas se mueven en esta dirección hasta que llegan a la superficie, y luego, como no pueden abandonar la superficie, se detienen.
- Hay también una componente paralela a la superficie, habrán fuerzas sobre las cargas en esta dirección.
- Como tienen libertad de movimiento, ellas se moverán para anular cualquier componente paralela de **E**.
- En muy corto tiempo, sólo la componente perpendicular permanece.

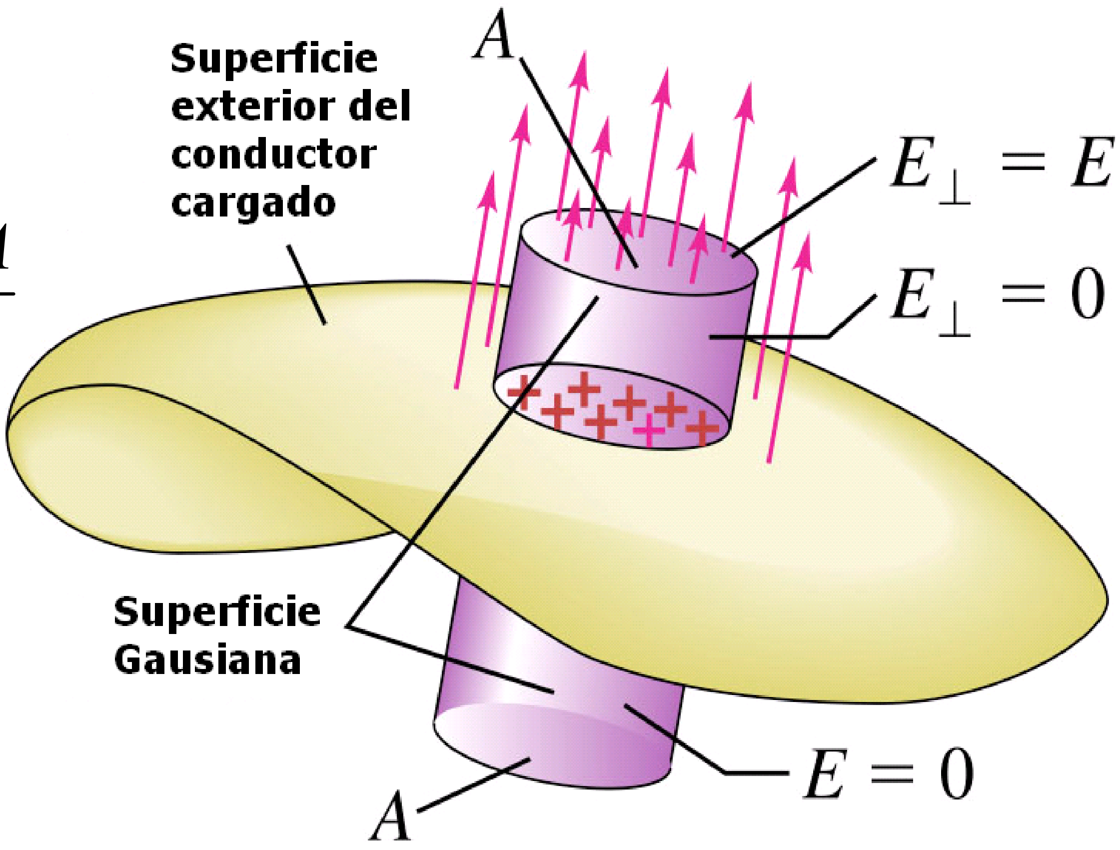
El campo sobre la superficie de un conductor es σ/ε_o

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{encerrada}}{\varepsilon_o}$$

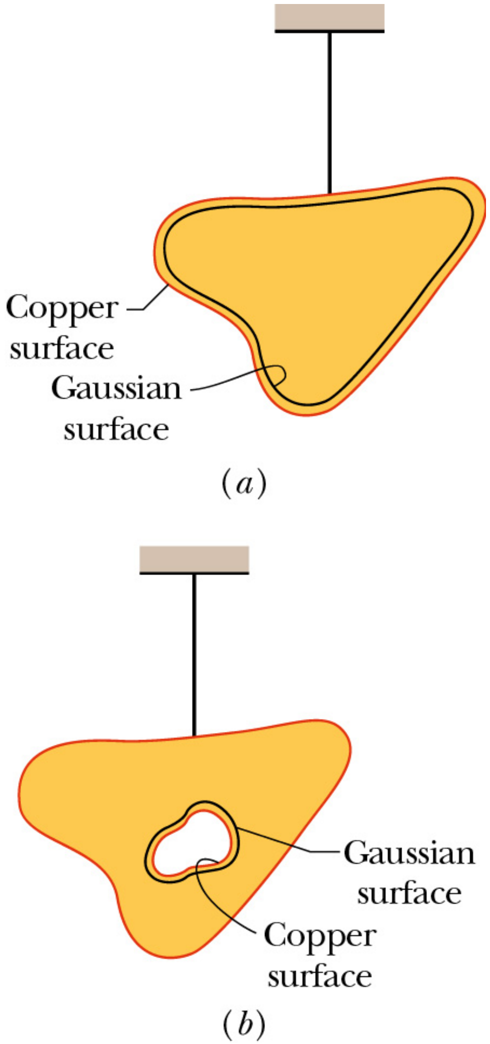
$$E_{exterior} A + E_{\text{int}\,erior} A = \frac{\sigma A}{\varepsilon_o}$$

$$E_{\text{superf.}} A = \frac{\sigma A}{\varepsilon_o}$$

$$E_{\text{sup.}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_o}$$



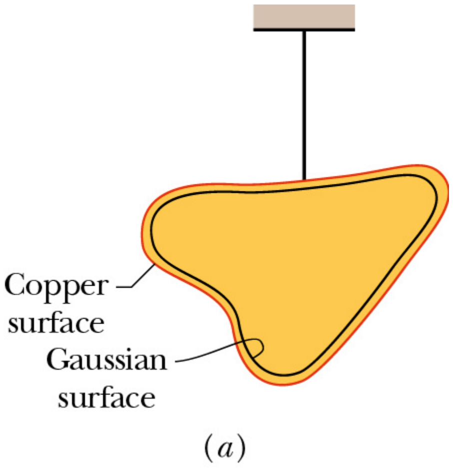
Carga Dentro de un Conductor

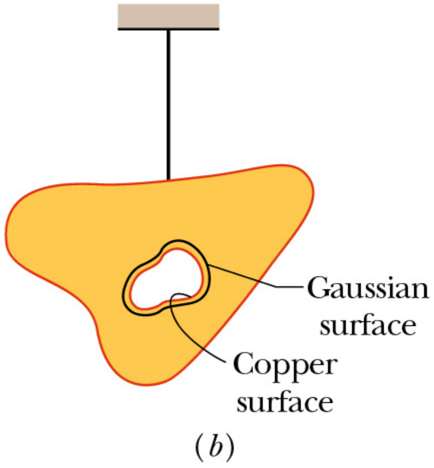


- Podemos usar la ley de Gauss para demostrar que dentro de un conductor NO hay carga neta.
- Tome un conductor de forma arbitraria, y dibuje una superficie gausiana justo en su interior.
- Físicamente, esperamos que no haya campo en su interior, ya que de otra forma las cargas se estarían moviendo.
- Debido a que E = 0 en el interior, E debe ser también cero sobre la superficie gausiana, en consecuencia NO debe haber carga neta en su interior.

$$\oint \vec{E} \bullet d\vec{A} = \frac{q_{encerrada}}{\varepsilon_o}$$

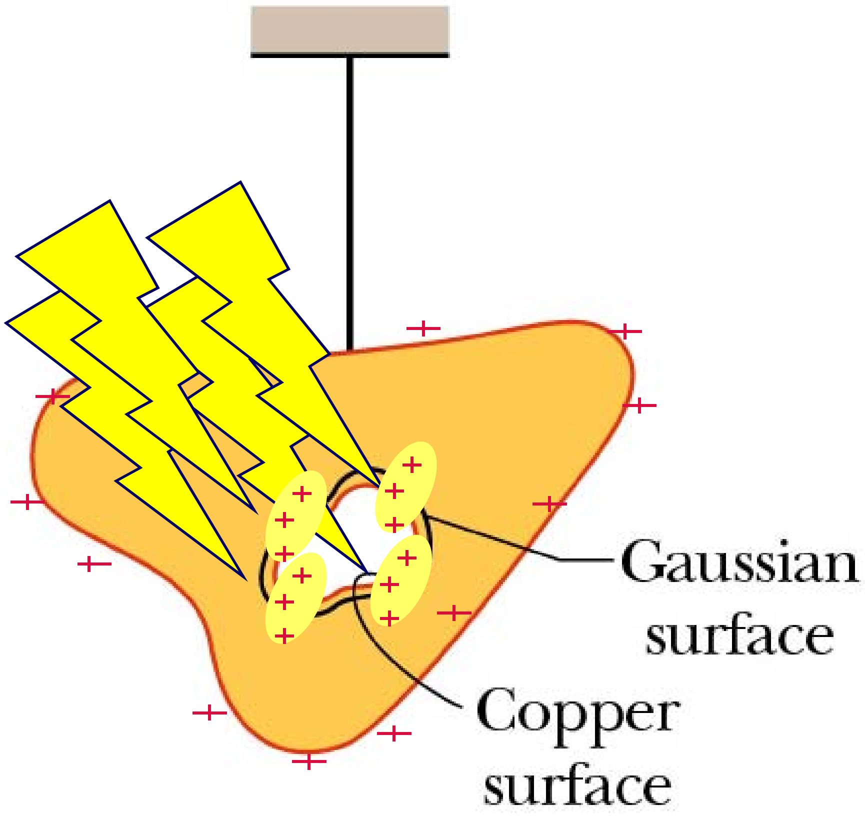
Carga de un Conductor





- Debido a que E = 0 en el interior, E debe ser también cero sobre la superficie gausiana, en consecuencia NO debe haber carga neta en su interior.
- Por tanto, toda la carga se debe encontrar en la superficie (como se indicaba en la unidad anterior).
- Si hacemos un hueco en el conductor, y rodeamos el hueco con una superficie gausiana, con el mismo argumento que E = 0 en todo punto en su interior, entonces NO debe haber carga en la superficie interior del agujero.

La Carga Depositada en un Conductor

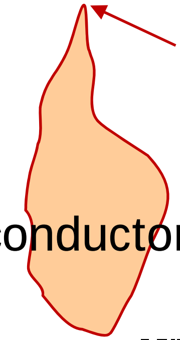


- Tenemos una verdad remarcable, si usted trata de depositar carga sobre el interior del conductor…
- Toda la carga se mueve al exterior y se distribuyen de tal forma que el campo sea en todo punto normal a la superficie.
- Esto NO es obvio, pero la ley de Gauss nos permite demostrarlo!

Aquí hay dos ideas

- el campo eléctrico es cero en el interior del conductor
- como esto es verdad, de la ley de Gauss, las cavidades en los conductores tienen E = 0

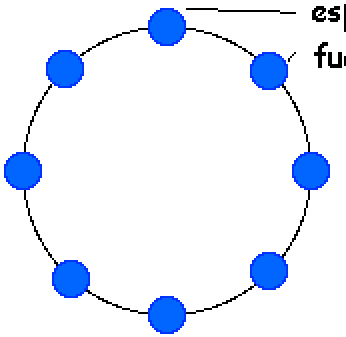
Distribución de Carga sobre un Conductor



Las cargas se agrupan en las puntas

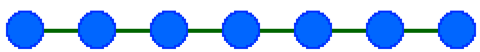
conductor

- Para una esfera conductora, las cargas se distribuyen simétricamente sobre la superficie.
- Para otras formas, sin embargo, las cargas tienden a agruparse cerca de las superficies puntiagudas.
- Para ver por qué, considere una línea de carga.

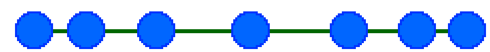


cargas igualmente espaciadas experimentan fuerzas balancedas

Fuerzas balanceadas



cargas igualmente espaciadas experimentan fuerzas no balanceadas



cargas desigualmente espaciadas experimentan fuerza balanceadas

Fuerzas no balanceadas (empujada por una carga De la izquierda, pero por 5 Cargas de la derecha)

Cargas redistribuídas (empujada por una carga cercana de la izquierda, pero por 5 cargas más distantes a la derecha)

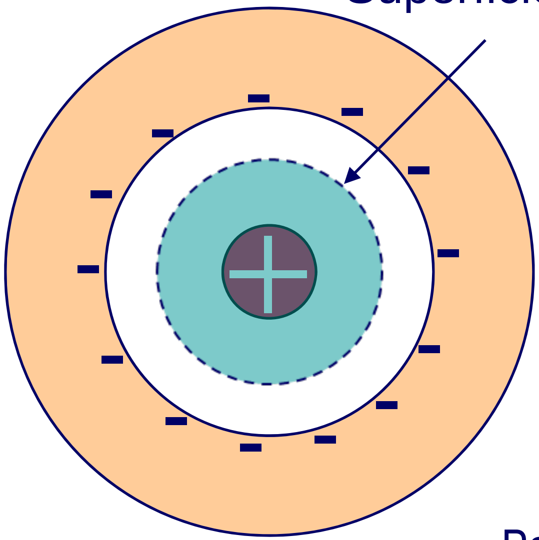
Use la Ley de Gauss para responder las siguiente preguntas....

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{enc}$$

¿Es E = 0 en la cavidad?

No, por que hay carga encerrada (Ley de Gauss).

Superficie Gaussiana



¿Es E = 0 en el conductor?

Si, por que de existir un campo dentro del conductor la carga se movería en respuesta (NO por la Ley de Gauss).

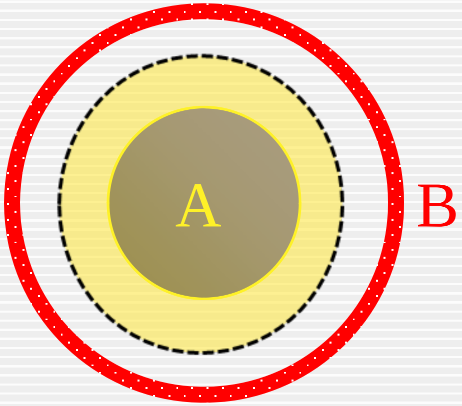
Si agrandamos la superficie gaussiana hasta el interior del conductor, ¿existe alguna carga neta encerrada?

Parecería que si, pero no puede haber, debido a que la Ley de Gauss establece que si E = 0 implica q_{enc} = 0!

¿Cómo podemos explicar esto?

Debe existir una carga inducida de igual valor y de signo contrario sobre la superficie interior.

Pre-vuelo:



La esfera azul A se encuentra dentro de un cascaron esférico rojo B. La esfera A tiene carga Q_A y sobre el cascaron esférico rojo hay carga Q_B.

El campo eléctrico en la región comprendida entre las dos esferas es completamente…

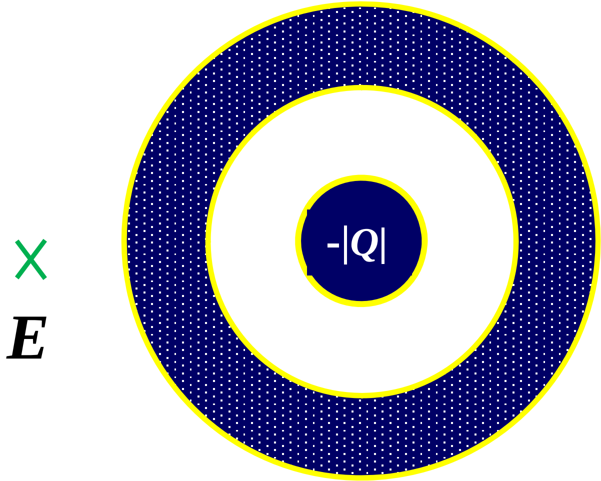
a) Dependiente de Q_A.
b) Dependiente de Q_A y Q_B.
c) Dependiente de Q_A y del signo de Q_B.

Pregunta de concepto

Considere las dos siguientes topologías:

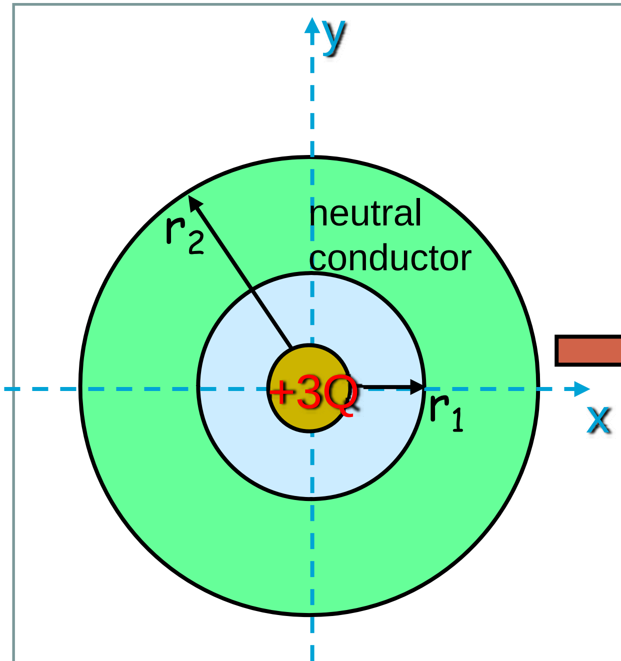
A) Una esfera sólida *no-conductora* tiene una carga total Q = -3 μC distribuída uniformemente en ella. Está rodeada por un cascarón esférico *conductor sin carga.*

B) Igual que (A) pero el cascarón esférico es removido



- **Compare el campo eléctrico en el punto X en los casos A y B:**

(a) $E_A < E_B$ **(b)** $E_A = E_B$ **(c)** $E_A > E_B$



Una carga puntual +3Q se coloca en el centro de un cascarón esférico conductor eléctricamente neutro, de radio interior r_1 y radio exterior r_2.

a) ¿Cuál es el valor de E en cualquier punto?

Podemos usar la Ley de Gauss para determinar E. La superficie Gaussiana = esfera centrada en el origen

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

$r < r_1$

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = E(4\pi r^2)$$

$$Q_{enc} = +3Q$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3Q}{r^2}$$

$r_1 < r < r_2$

A ☐ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3Q}{r^2}$

B ☐ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3Q}{r_1^2}$

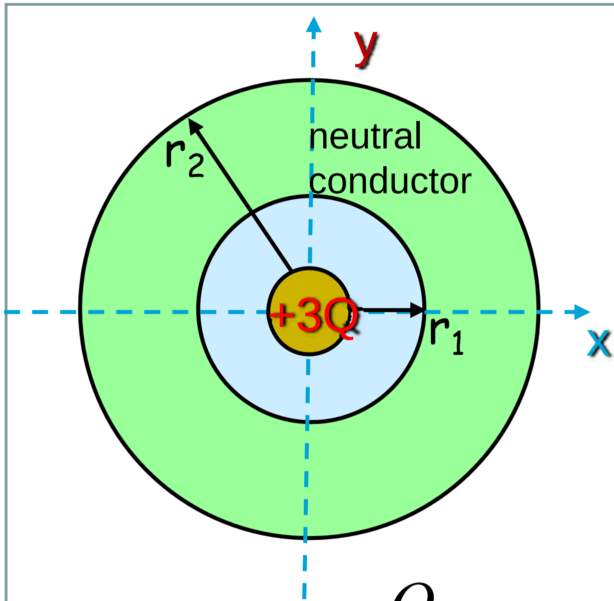
C ☐ $E = 0$

$r > r_2$

A ☐ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3Q}{r^2}$

B ☐ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3Q}{r_1^2}$

C ☐ $E = 0$



$$\int \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

Una carga puntual +3Q se coloca en el centro de un cascarón esférico conductor eléctricamente neutro, de radio interior r_1 y radio exterior r_2.

a) ¿Cuál es el valor de E en cualquier punto?

Nosotros sabemos:

$r < r_1$

$r > r_2$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3Q}{r^2}$$

$r_1 < r < r_2$

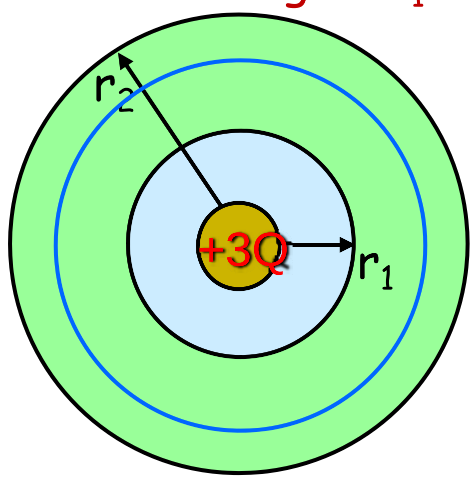
$$E = 0$$

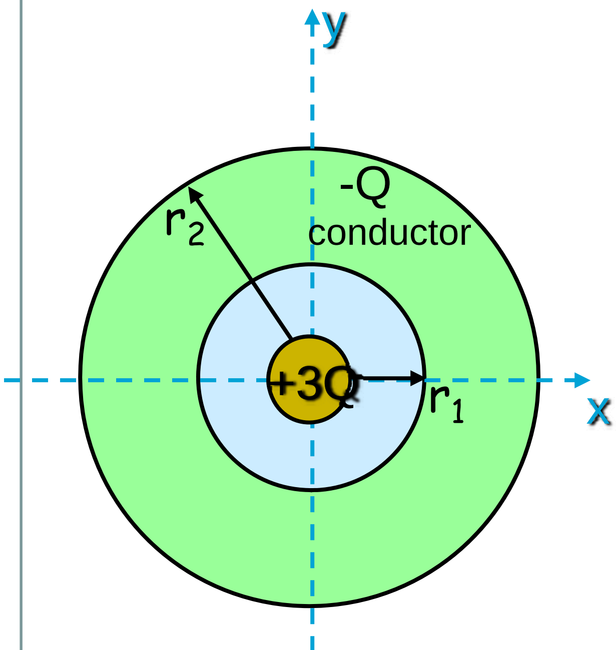
b) ¿Cuál es la distribución de carga a r_1?

A ☐ $\sigma < 0$

B ☐ $\sigma = 0$

C ☐ $\sigma > 0$



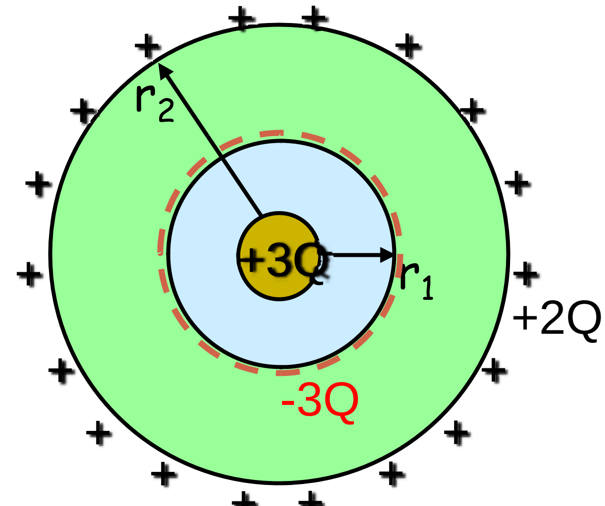


Suponga que le colocamos al conductor una carga de valor -Q

a) ¿Cuál es el valor de E en cualquier punto?

b) ¿Cuál es la distribución de carga sobre las superficies a r_1 y r_2?

$$\int \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0}$$



$r < r_1$

A ☐ $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{3Q}{r^2}$

B ☐ $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{2Q}{r^2}$

C ☐ $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}$

$r > r_2$

A ☐ $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{3Q}{r^2}$

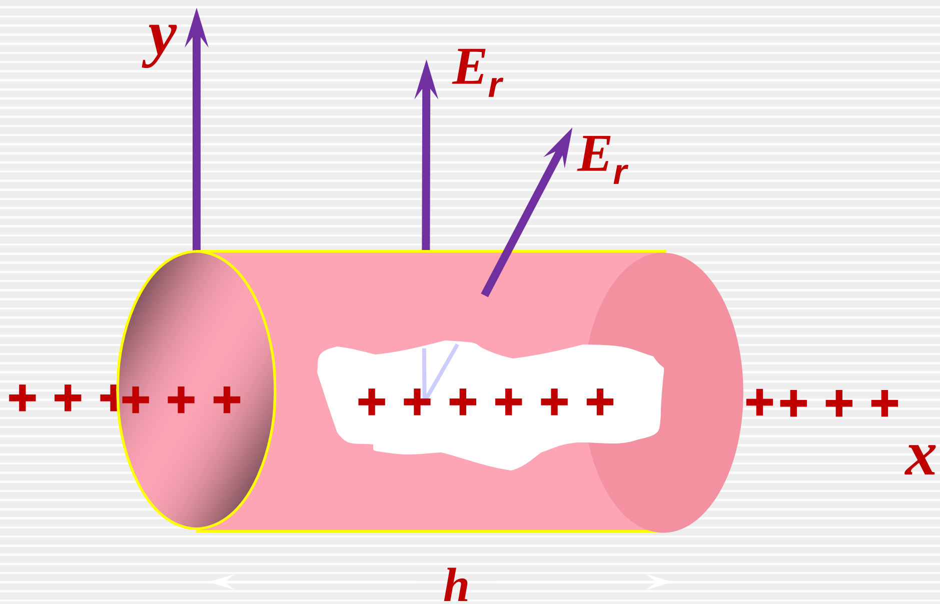
B ☐ $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{2Q}{r^2}$

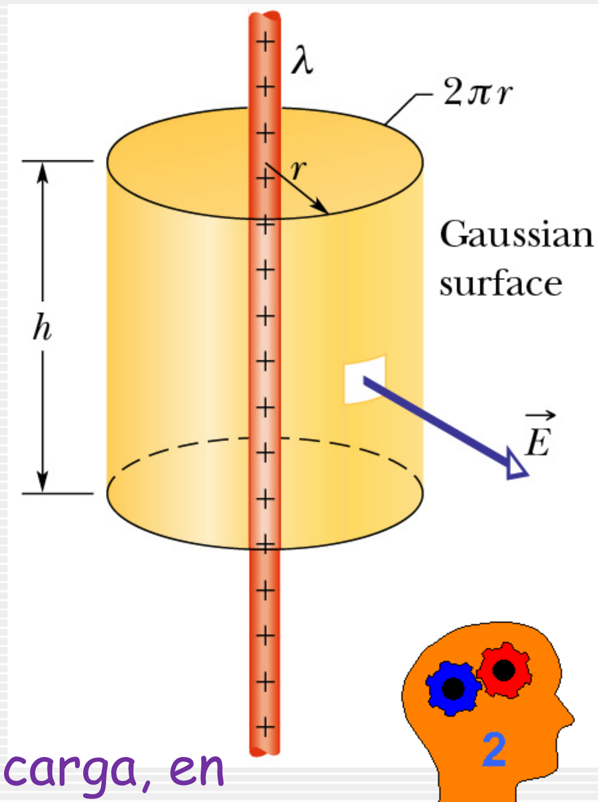
C ☐ $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}$

$r_1 < r < r_2$

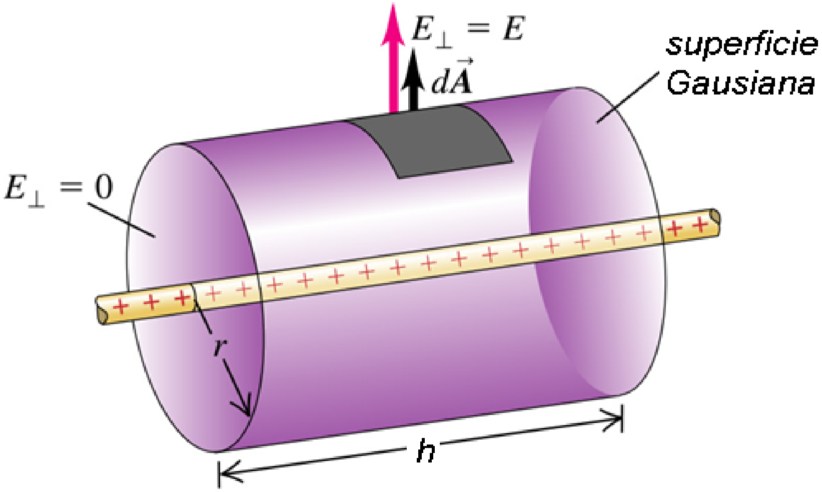
Línea Infinita de Carga

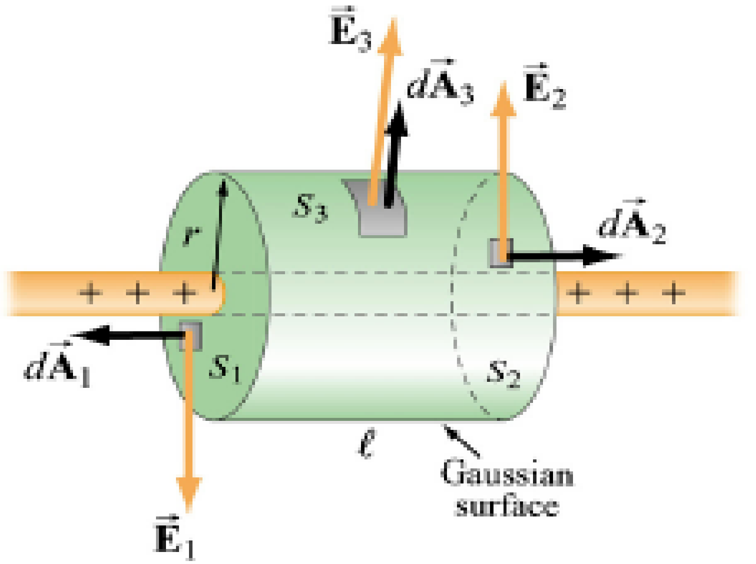
- **Simetría ⇒ el campo E debe ser ⊥ a la línea y solo depende de la distancia a ella**
- **Por lo tanto, ESCOJA una superficie Gaussiana cilíndrica de radio r y longitud h alineada con el eje x.**





El campo eléctrico es perpendicular a la línea de carga, en consecuencia, perpendicular a la superficie lateral del cilindro Gaussiano.

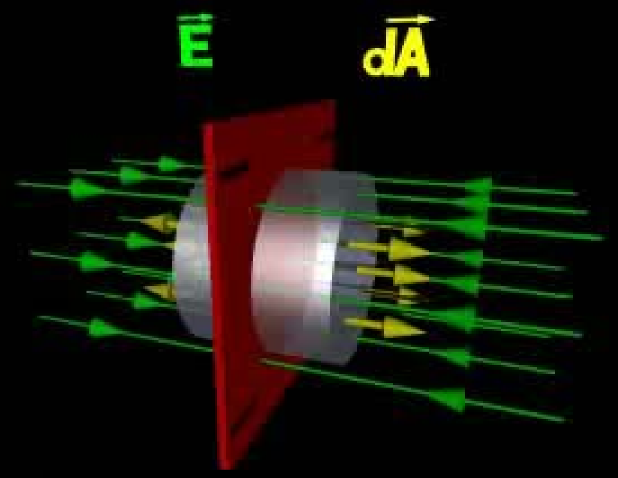


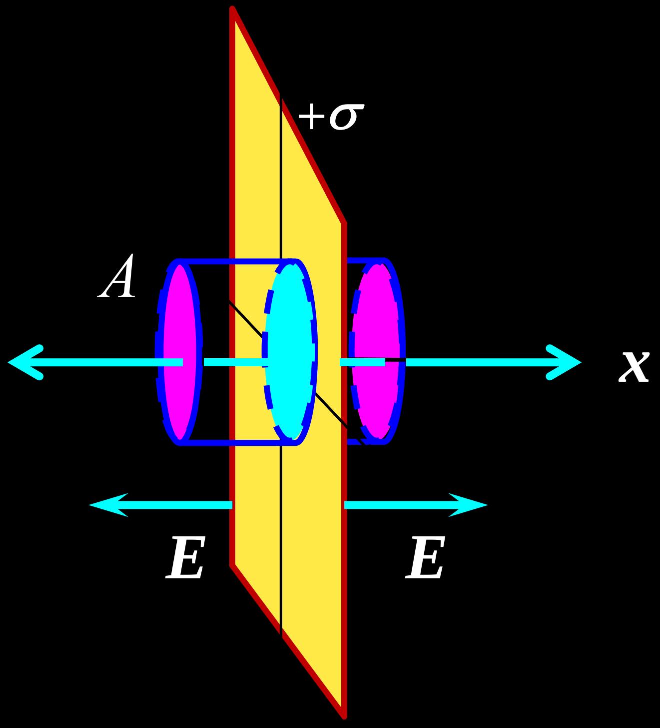


Solo existe flujo a través de la superficie lateral del cilindro. El flujo a través de las tapas laterales (extremos) vale cero.

NOTE: hemos logrado aquí el mismo resultado que obtuvimos usando La ley de Coulomb. La simetría hace fácil este problema.

Lámina Infinita de carga, Densidad Superficial de Carga σ

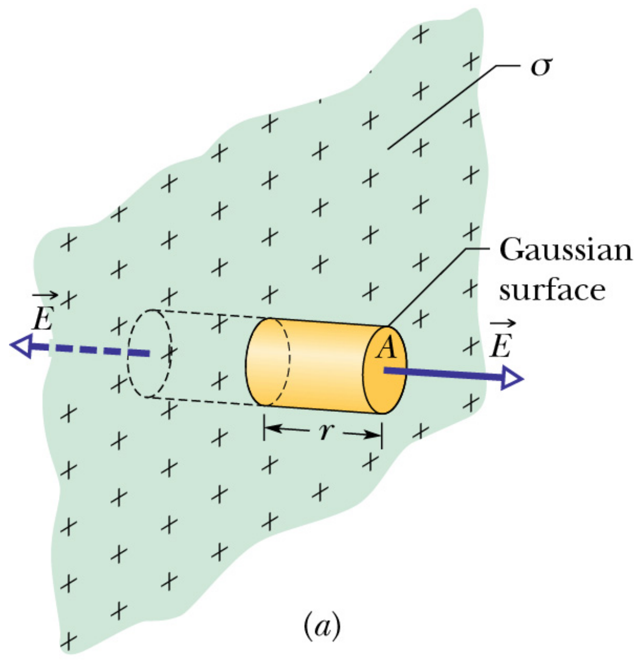




$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_o}$$

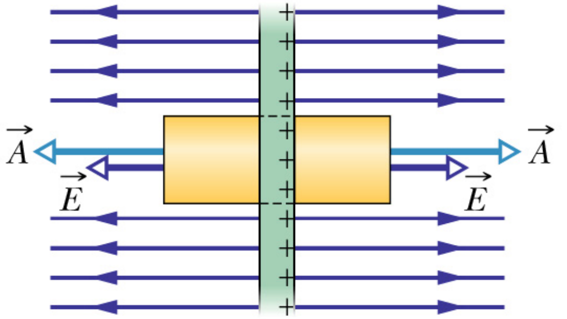
Lámina No Conductora

- Una lámina no conductora con carga superficial uniformemente distribuida.
- El campo eléctrico es perpendicular a la superficie en ambos lados.
- Una superficie gaussiana cilíndrica es apropiada ya que sólo habría flujo en los extremos del cilindro.
- Como vamos a demostrar, el campo eléctrico es la mitad del generado por una lámina conductora, con igual densidad de carga



(a)

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \varepsilon_0 2EA = \sigma A$$



$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

Sheet of Charge

Lámina (placa) Conductora

- **El campo dentro del conductor es CERO:**
  - **Superposición**
  - **La superficie Gaussiana encierra carga neta**

$$Q = 2\sigma A$$

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \varepsilon_o (AE_{lat.izq.} + AE_{lat.der.}) = 2\sigma A$$

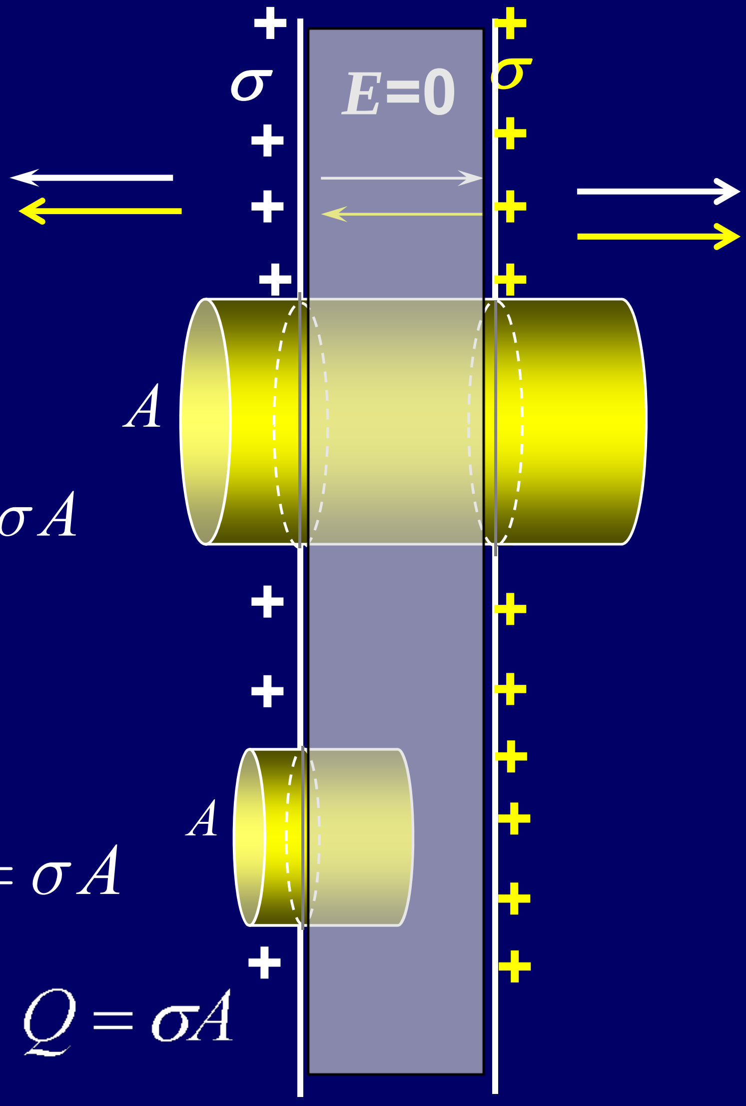
$$2AE\varepsilon_o = 2\sigma A$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \varepsilon_o (AE_{fuera} + AE_{dentro}) = \sigma A$$

$$E_{fuera} A = \frac{\sigma A}{\varepsilon_o}$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$



$$Q = \sigma A$$

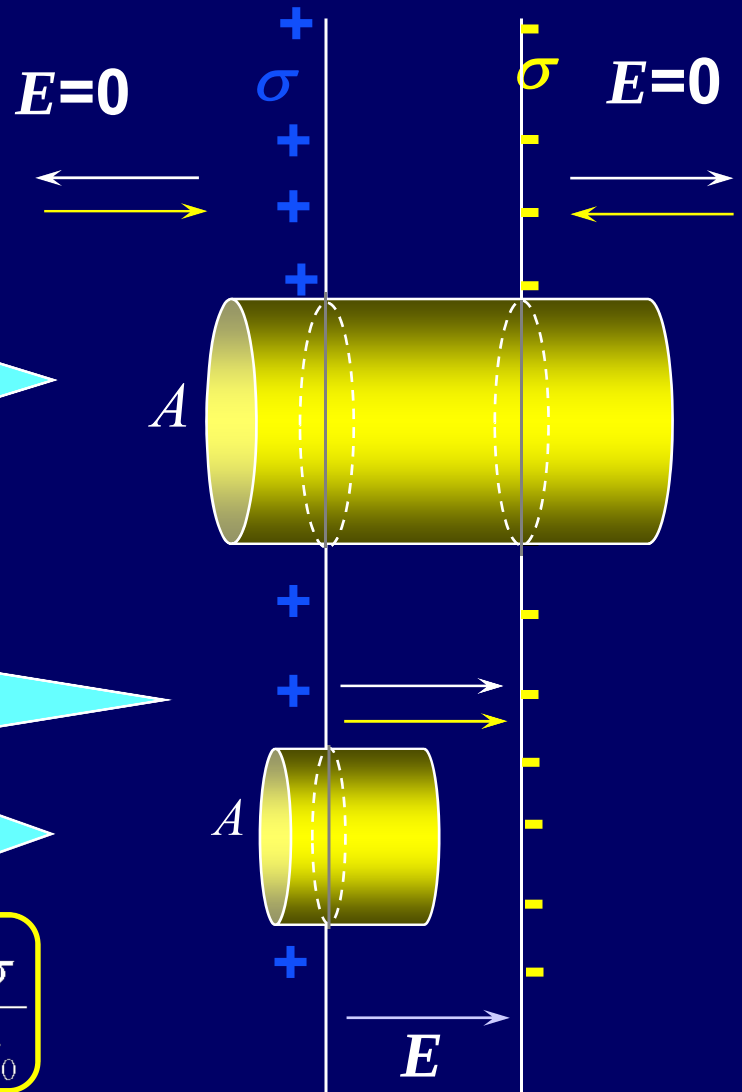
Dos Láminas dieléctricas Infinitas

- **El campo fuera debe ser cero. Dos formas de verlo:**
  - **Superposición**
  - **La superficie Gaussiana encierra carga neta cero**
- **El campo entre las láminas NO es cero:**
  - **Superposición**
  - **La superficie Gaussiana encierra carga neta**

$$\sigma = QA$$

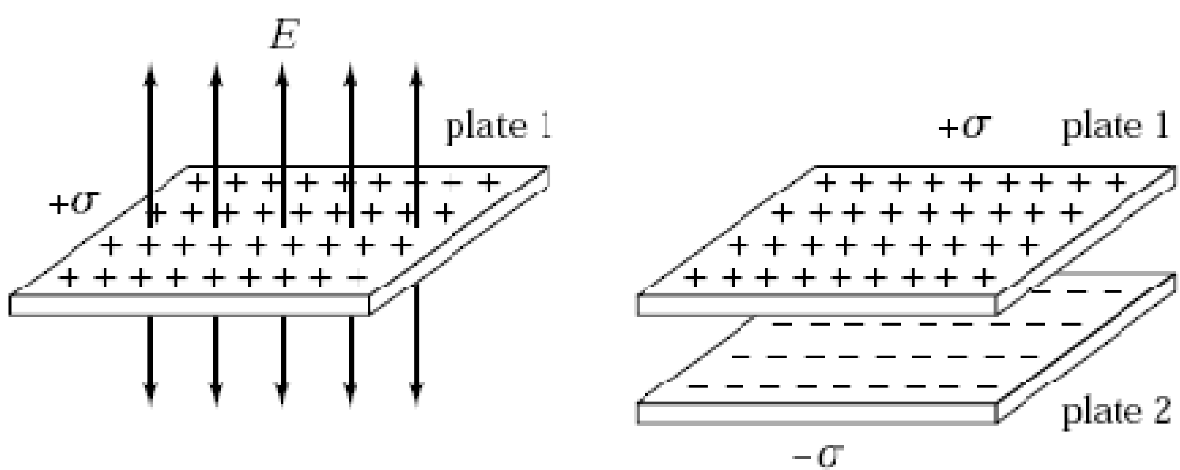
$$\oint \vec{E} \bullet d\vec{S} = \cancel{AE_{outside}} + AE_{inside}$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$



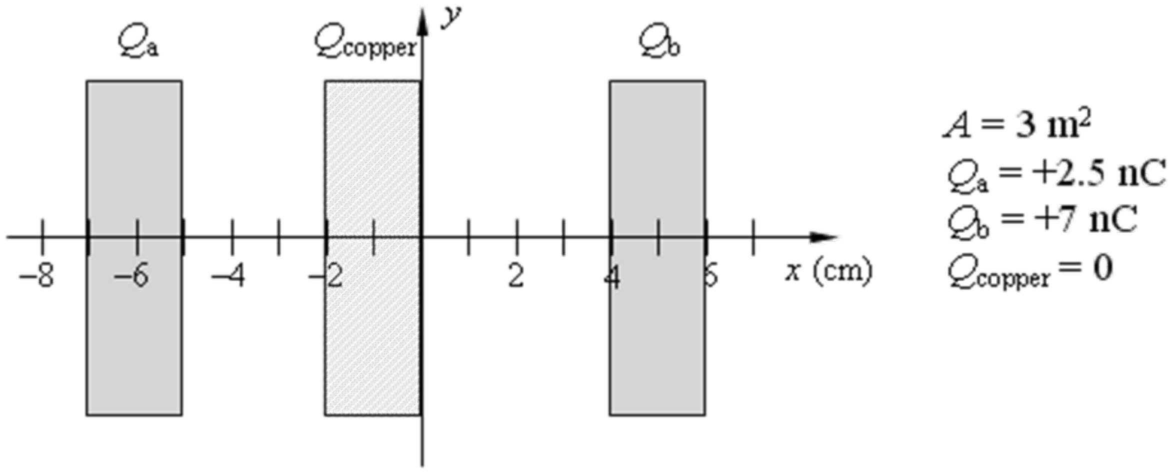
The electric charge per unit area is $+\sigma$ for plate 1 and $-\sigma$ for plate 2.The magnitude of the electric field associated with plate 1 is σ/ε_o, and the electric field lines for this plate are as shown. When the two are placed parallel to one another, the magnitude of the electric field is

1. $2\sigma/\varepsilon_o$ between, 0 outside.
2. $2\sigma/\varepsilon_o$ between, $\pm\sigma/\varepsilon_o$ outside.
3. zero both between and outside.
4. $\pm\sigma/\varepsilon_o$ both between and outside.
5. none of the above.



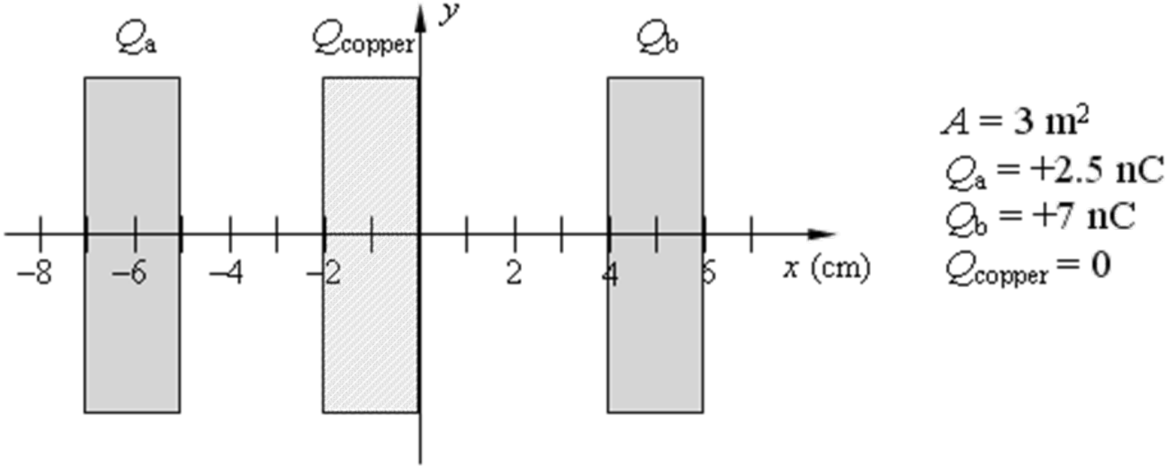
Consider three flat slabs of identical dimensions: their area $A = 3\ m^2$ is so large compared to their 2 cm thickness that they may be considered of infinite area for purposes of calculation. The figure below shows how they are positioned. Slabs *a* and *b* are made of glass (an excellent insulator), while the middle slab is made of copper (an excellent conductor). The copper slab is uncharged. However, the two glass slabs *a* and *b* are given total charges Q_a and Q_b respectively, distributed uniformly throughout their volumes. The values of all parameters are given in the figure. Calculate the *x*-component of electric field at the position *x* = -3.5 cm on the *x*-axis.

(a) $E_x = +18.4$ kN/C
(b) $E_x = +47.1$ N/C
(c) $E_x = -84.7$ N/C
(d) $E_x = -33.0 \times 10^3$ N/C
(e) $E_x = +179 \times 10^3$ N/C



Consider three flat slabs of identical dimensions: their area A = 3 m^2 is so large compared to their 2 cm thickness that they may be considered of infinite area for purposes of calculation. The figure below shows how they are positioned. Slabs *a* and *b* are made of glass (an excellent insulator), while the middle slab is made of copper (an excellent conductor). The copper slab is uncharged. However, the two glass slabs *a* and *b* are given total charges Q_a and Q_b respectively, distributed uniformly throughout their volumes. The values of all parameters are given in the figure. Calculate the total charge Q_R which resides on the right-hand face of the copper slab (i.e. at x = 0).

(a) Q_R = -2.25 nC
(b) Q_R = -7.00 nC
(c) Q_R = -9.50 nC



FIN DE ESTA UNIDAD

LA PROXIMA CLASE:

- PRUEBA DE LECTURA DE LA UNIDAD: "**POTENCIAL ELECTRICO**"

- LECCION SOBRE: **"LEY DE GAUSS"**