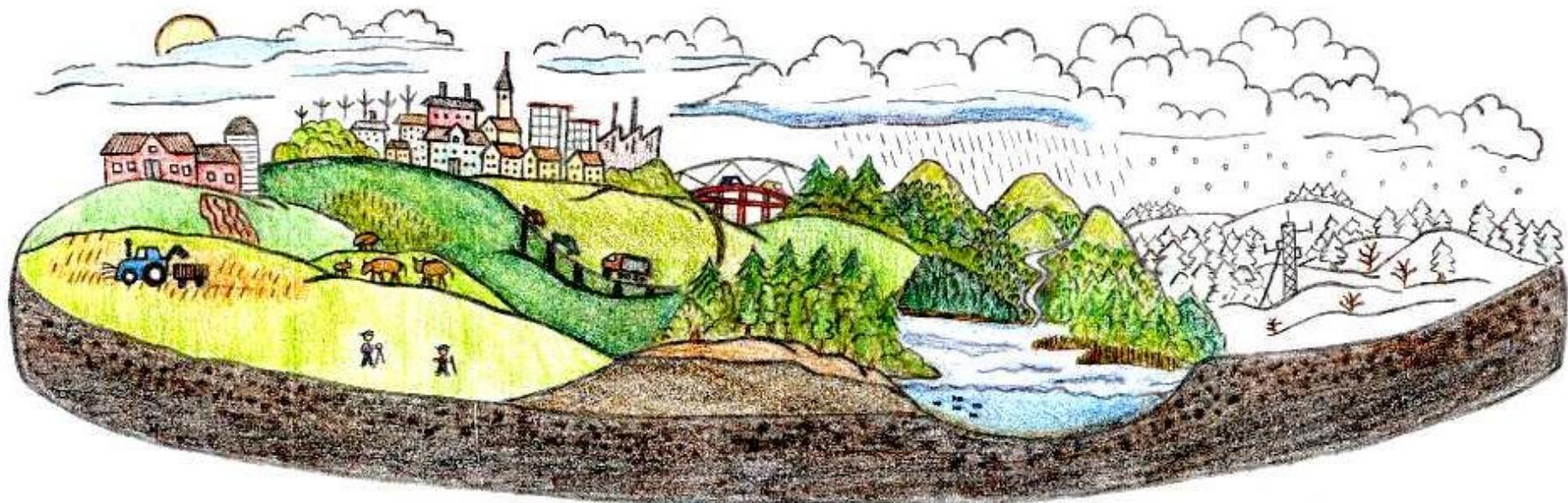


Bases Físicas del Medio Ambiente

Campo Eléctrico



Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



Programa

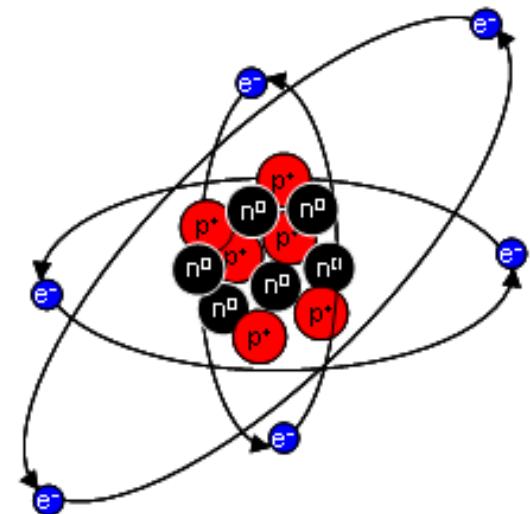
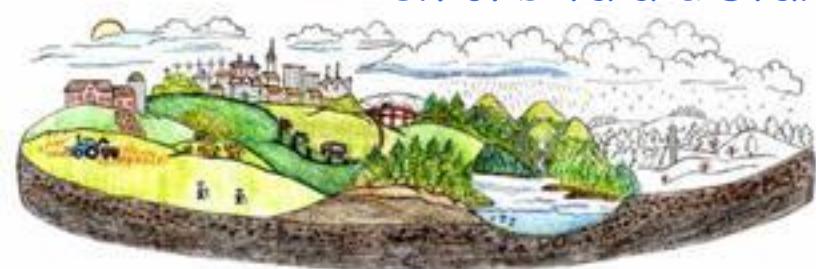
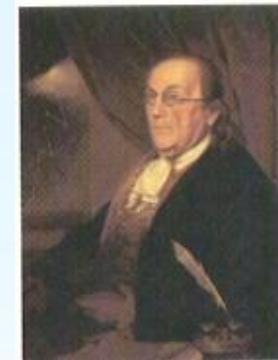
- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- **Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb.** Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



Carga Eléctrica

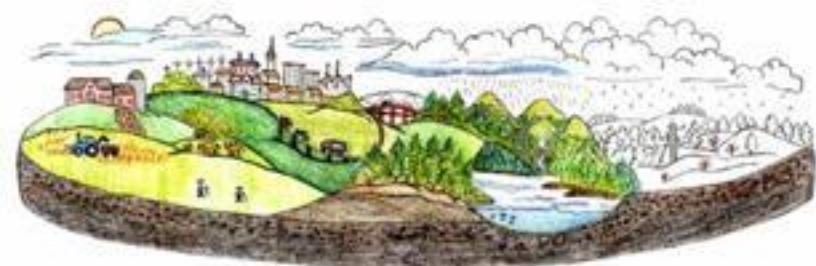
Propiedad Intrínseca de la Materia

- Tipos de carga (Franklin, 1706-1790)
 - Positiva protones
 - Negativa electrones
 - Neutral neutrones
- Hoy sabemos más sobre su naturaleza
- Los átomos son neutrales, compuestos de
 - Núcleos positivos (fijos)
 - con $r \sim 10^{-15} \text{ m}$
 - Electrones negativos (móviles)
 - en órbita a distancias de $r \sim 10^{-10} \text{ m}$



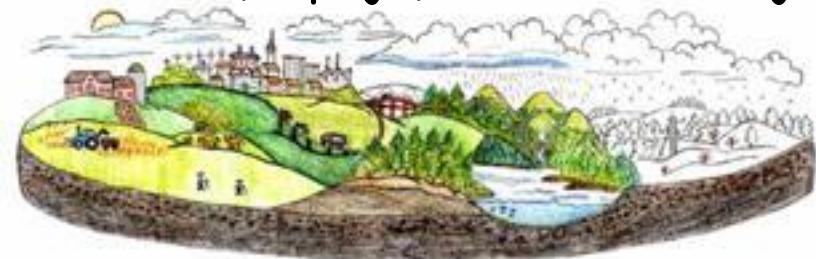
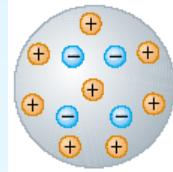
Propiedades de la Carga Eléctrica

- 1. La carga se conserva
 - Se puede transferir de objeto a objeto
 - No se crea, ni se destruye
- 2. La carga viene en quanta
 - El cargo más pequeño conocido: un electrón (protón)
- 3. Fuerzas de atracción y repulsión:
 - Las cargas **opuestas** se atraen
 - Las cargas del mismo signo se repulsan
 - La fuerza dependen de la distancia
 - (Más tarde)



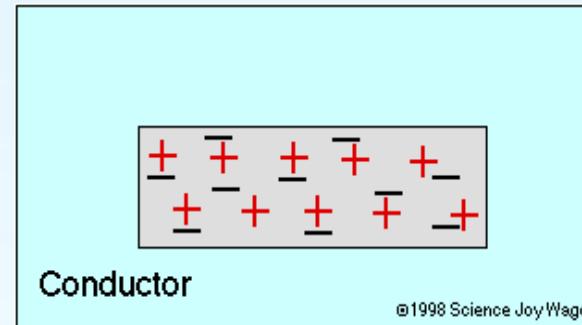
Cargas positivas y negativas

- Objeto con carga positiva: más protones que electrones
 - No se trata siempre de un protón individual
- Tipos de objetos, según la movilidad de los electrones
 - Conductores : con electrones "libres" ("promiscuos"; no atados a ningún átomo) a moverse dentro de la materia
 - Metales (plomo, cobre, plata) : un átomo suele tener uno o dos electrones externos, débilmente vinculados al núcleo
 - También: disoluciones iónicas, cuerpo humano, etc.
 - Aislantes (vidrio, madera, caucho): tienen cada electrón atado a un átomo concreto. En realidad no existen aislantes perfectos.
 - Semiconductores (silicio, germanio): propiedades eléctricas cambian agregando pequeñas cantidades de otros elementos (dopaje): fuera del objetivo de esta asignatura

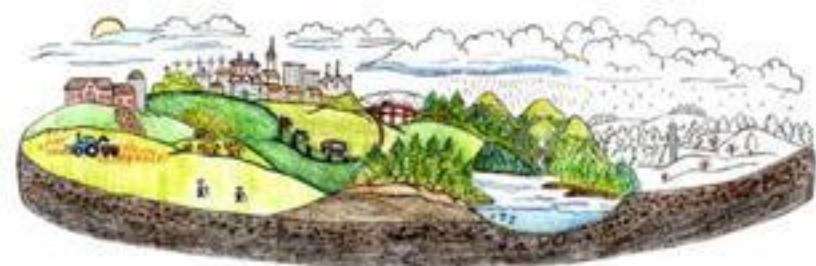
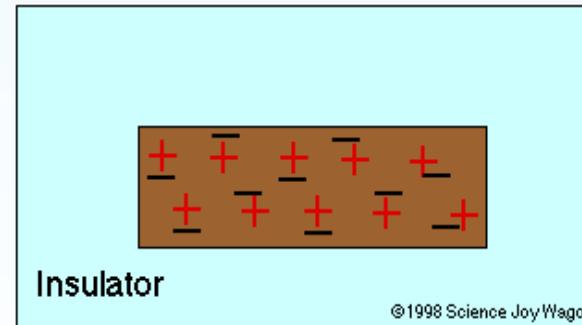


Conductores y Aislantes (Conductors and Insulators)

Comportamiento de los
electrones en un
conductor perfecto



Comportamiento de los
electrones en un aislante



La gran parte de los
materiales se comportan
de manera intermedia

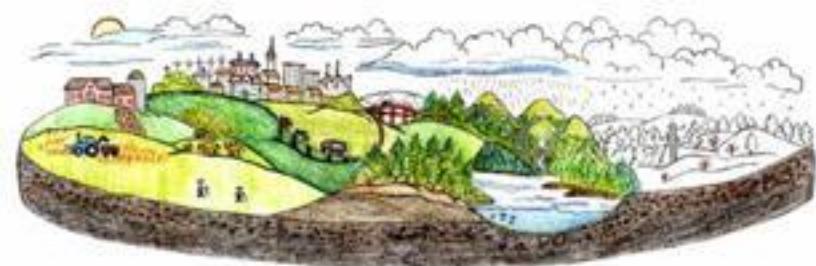
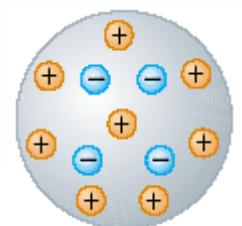
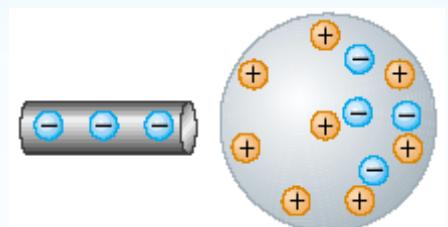
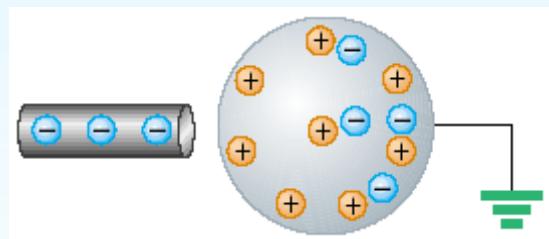
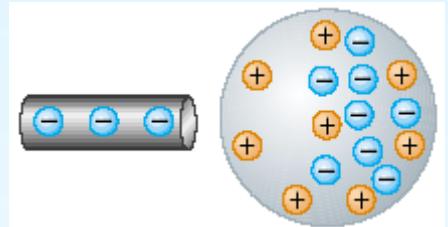
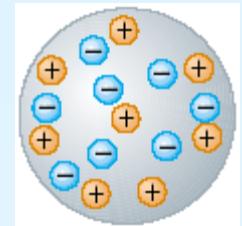
Transferencia de carga

- Frotarse el cabello con un globo
 - Conservación de carga
 - Intercambio de electrones
 - Cabello positivo -----> Globo negativo (ejm)
 - Se atraen
- “Carga por conducción”
- Otro método que funciona sólo para los conductores (estrictamente)



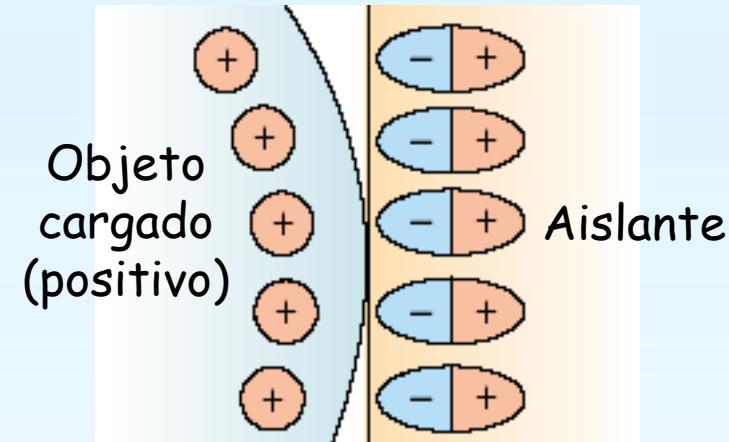
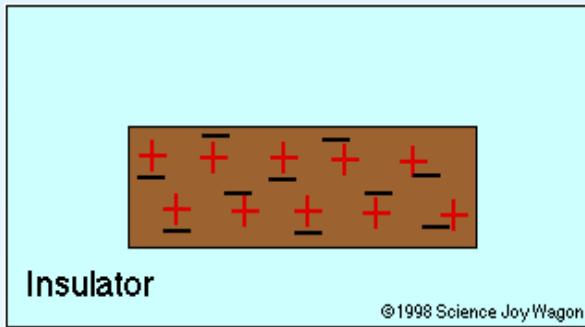
Inducción de Carga en Conductores

- Empezamos con un conductor
- Acercar una barra con carga negativa
 - Se alargan los electrones
- Conectar el lado negativo a la tierra
 - Se escapan algunos electrones
- Desconectar de la tierra
- Quitar la barra
- El conductor se queda con cargo positivo

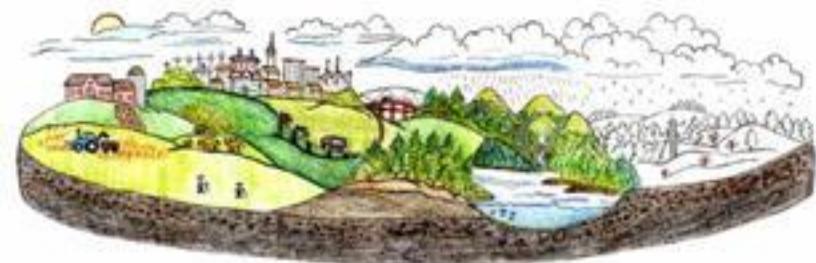


Carga por inducción

Inducción en Aislantes



- No es que los electrones no se muevan
 - (no se mueven lejos)
 - Reorganización de carga en cada molécula
- Desequilibrio de fuerzas
 - Fuerza de atracción
 - Fuerza de repulsión



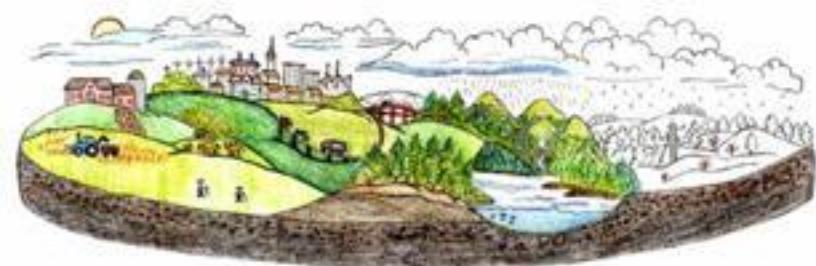
Preludio:
Ley de
Coulomb



Preludio a la Ley de Coulomb: Cuantificación de la carga

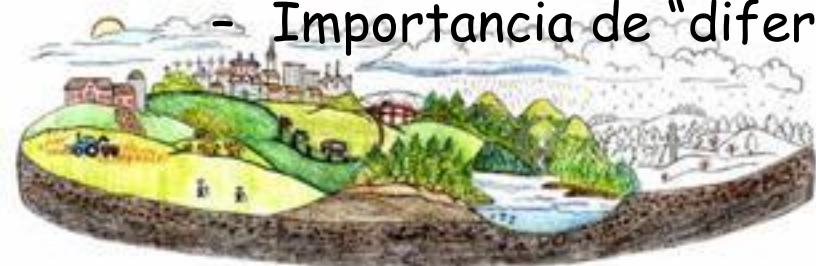
- La unidad (S.I.): un coulomb (C) es la carga de aproximadamente 6.24×10^{18} electrones o protones
 - 1 cm³ de Cu contiene 10^{23} electrones libres
 - 1 C puede parecer pequeño
 - Sin embargo, 1 C es una carga sustancial: frotando una varita de vidrio, se puede conseguir una carga de $10^{-6} C$

Partícula	Carga (C)	Masa (kg)
Electrón	$-1.6021917 \times 10^{-19}$	9.1095×10^{-31}
Protón	$1.6021917 \times 10^{-19}$	1.67261×10^{-27}
Neutrón	0	1.67261×10^{-27}



La Ley de Coulomb

- La Fuerza Eléctrica entre dos cargas $F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$
 - Proporcional al producto de las cargas
 - Proporcional al inverso de la separación, cuadrada
 - Dirección/signo:
 - Atracción si son dos cargas con signos opuestos
 - Repulsión si son del mismo signo
- Fijarse que $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ (vectores iguales, opuestos)
- Es una fuerza conservativa (como la gravedad)
 - Def : Trabajo $\neq f(\text{camino})$
 - (Interés en definir campos de potencial)
 - Importancia de "diferencias de potencial"



La Ley de Coulomb

- La Fuerza Eléctrica entre dos cargas $F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$
 - A veces se escribe así: $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$
 - Donde ϵ es la "permisividad" del medio
 - La permisividad del vacío $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$
 - La constante de Coulomb; $k_{e0} = 8.9875 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$



Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. **Campo electrostático.** Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.

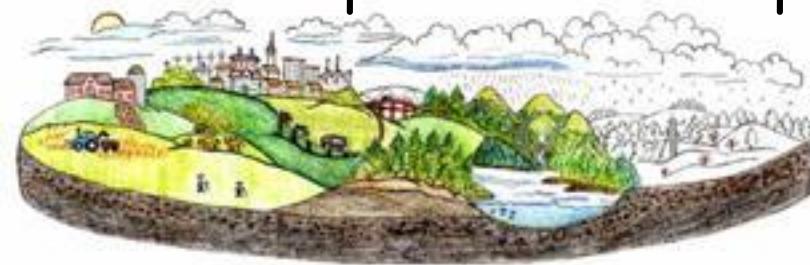
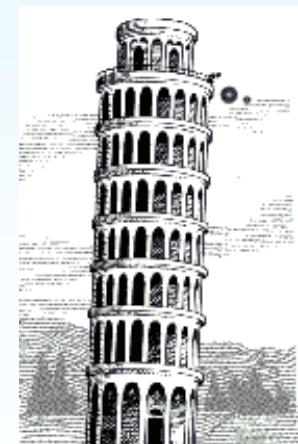


El concepto de un campo

- La fuerza de gravedad
 - Siendo objeto 1 la Tierra
 - Objeto 2 lo que sea*
- La aceleración (g) de objeto 2:
 - Solo depende de distancia de la Tierra
 - Constantes: G , m_1 (masa Terrestre)
- Podemos describir la aceleración de cualquier objeto ("2") en función de su posición en el campo gravitacional de la Tierra, independiente de su masa (Galileo)
- Paralelismos entre fuerzas (gravedad, eléctrica)
 - No hace falta ningún contacto entre elementos
 - El campo espacial depende solo en las distancias cuadradas
- Un campo: cualquier magnitud física asociada a cada posición del espacio

$$F_g = G \frac{|m_1| |m_2|}{r^2}$$

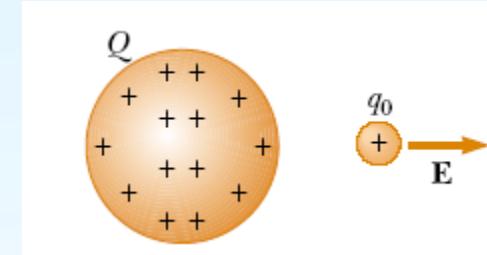
$$g = \frac{F_g}{|m_2|} = G \frac{|m_1|}{r^2}$$



*Tiene que ser de masa pequeña relativa a la Tierra.
¡No puede ser el sol!

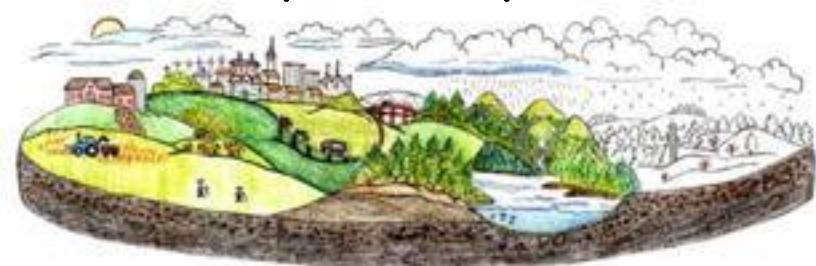
El campo eléctrico

- Concepto de un campo - Michael Faraday (1791-1867):
 - Si se ubica una **carga de prueba** q_0
 - La fuerza que experimenta es $F = q_0 E$
 - Donde E es el campo eléctrico $E = \frac{F}{q_0}$
- El campo eléctrico es la fuerza que actúa en una carga de prueba **positiva** con q_0 , normalizado por q_0
- Importante: E no dependen en q_0 (la carga de prueba se considera como un **detector** del campo eléctrico)
 - Hipótesis: q_0 es suficientemente pequeño que no altera la distribución de cargas que determina el campo eléctrico



La fuerza y el campo eléctrico

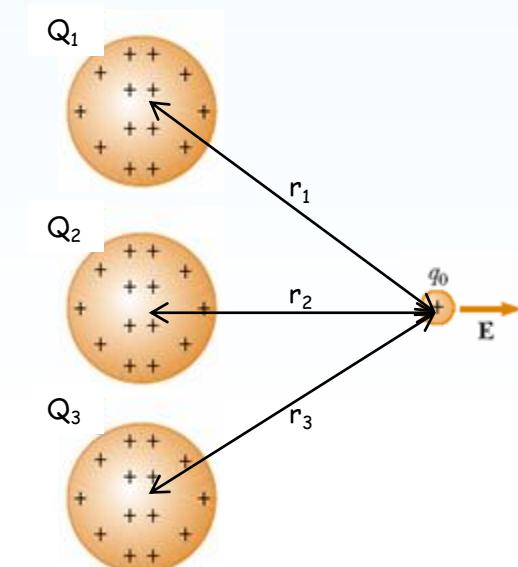
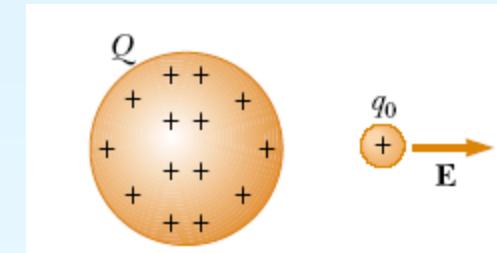
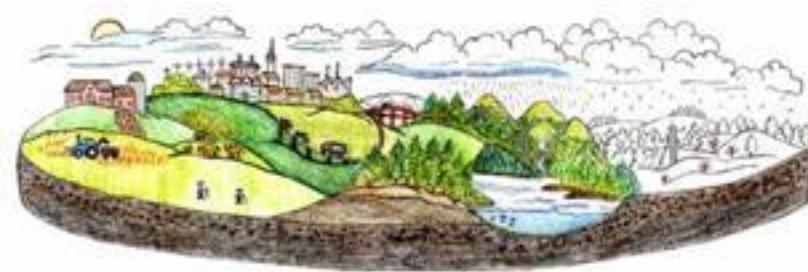
- El vector \vec{E}
 - Tiene unidades (S.I.) de newton/coulomb (N/C)
 - Ayuda a determinar la fuerza eléctrica para cualquiera carga
- En general, si se ubica una carga q en un campo eléctrico, la fuerza que experimenta es $F_e = q\vec{E}$
 - Para $q > 0$, la fuerza es en la misma dirección del campo
 - Para $q < 0$, la fuerza es en la dirección opuesta
- El campo eléctrico es la fuerza que actúa en una carga de prueba positiva con q_0 , normalizado por q_0



El campo eléctrico

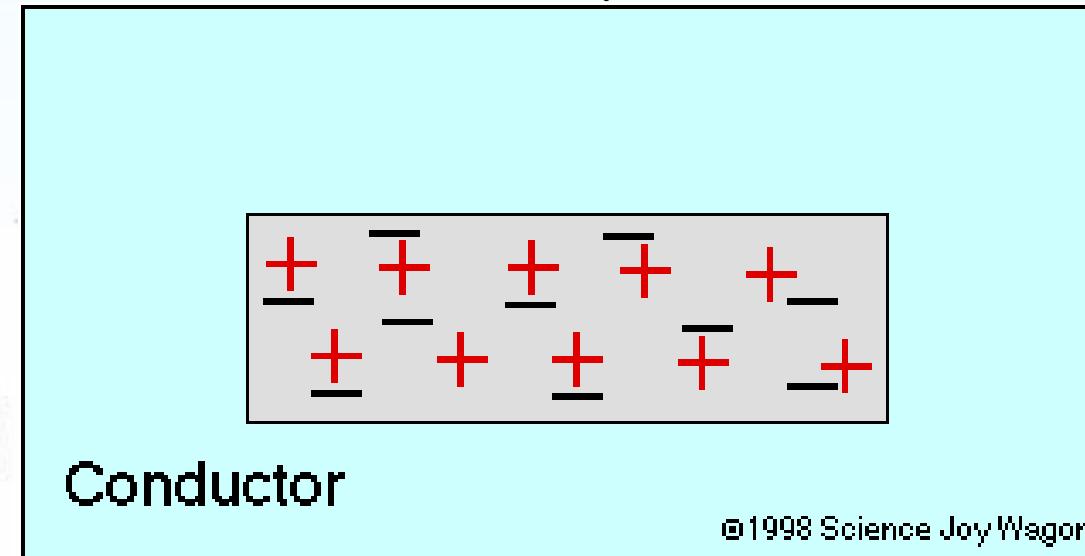
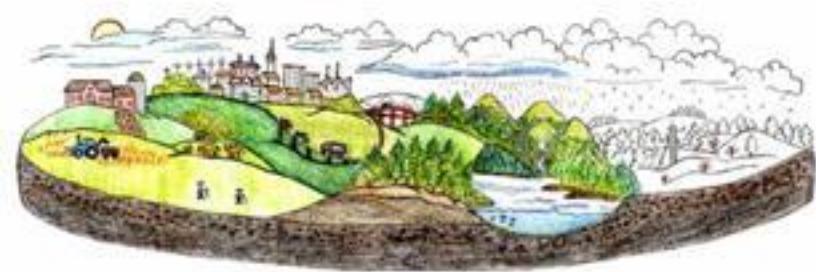
- La fuerza eléctrica (Coulomb) $F_e = k_e \frac{Qq_0}{r^2} \hat{r}$
 - La **carga de fuente** Q
 - La **carga de prueba** q_0
- El campo eléctrico (Faraday) $E = \frac{F_e}{q_0} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$
- ¿Qué pasa cuando hay más de una carga de fuente?

$$E \equiv \frac{F_{neta}}{q_0} = k_e \sum_i \frac{Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$



El campo eléctrico (E) en el interior de un conductor

- Conductor : electrones libres a moverse
 - Si los electrones notan una fuerza eléctrica
 - Se moverán "inmediatamente" hasta que ya no hay fuerza ($F=0$)
 - Si $F=0$ entonces $E=0$
- $E=0$ dentro de un conductor ("Siempre")

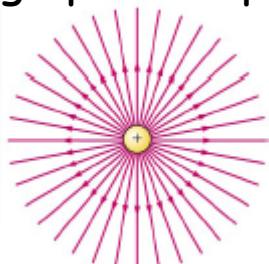


Conductor

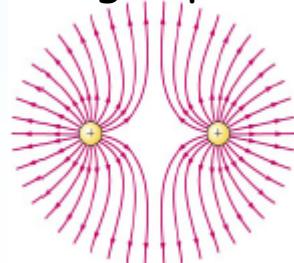
Líneas de Campo (Faraday)

- Herramienta gráfica: visualización del campo eléctrico
- Se relacionan con el campo eléctrico de manera que:
 - Campo \vec{E} tangente a las líneas en todos puntos
 - Número (densidad) de líneas que pasa por una superficie en proporción a la intensidad de \vec{E}
- La intensidad de \vec{E} es superior en la superficie A
- Ejemplos:

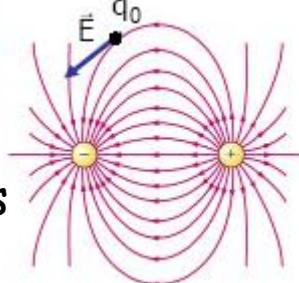
carga puntual positivo



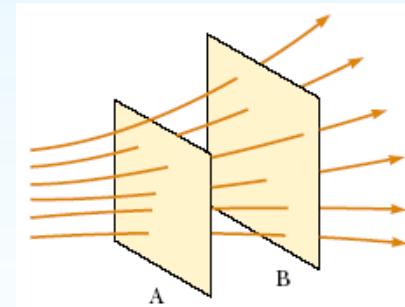
dos cargos positivos



Una carga positiva y otra negativa:
líneas de + a -.



Dipolo: si son iguales con signo opuesto.



Líneas de Campo (Otras características)

- Las líneas empiezan o terminan sólo en las cargas.
- El número de líneas que abandonan una carga puntual positiva o entran en una carga puntual negativa es proporcional a la carga.
- Las líneas se dibujan simétricamente saliendo o entrando de la carga puntual (según la Ley de Coulomb).
- La densidad de líneas es proporcional al valor del campo.
- No pueden cortarse nunca dos líneas de campo
 - Tiene una dirección única en cualquier punto del espacio (\vec{F}_{neta})
 - Si se cortasen dos líneas, se indicarían dos direcciones de \vec{E} en el punto de intersección



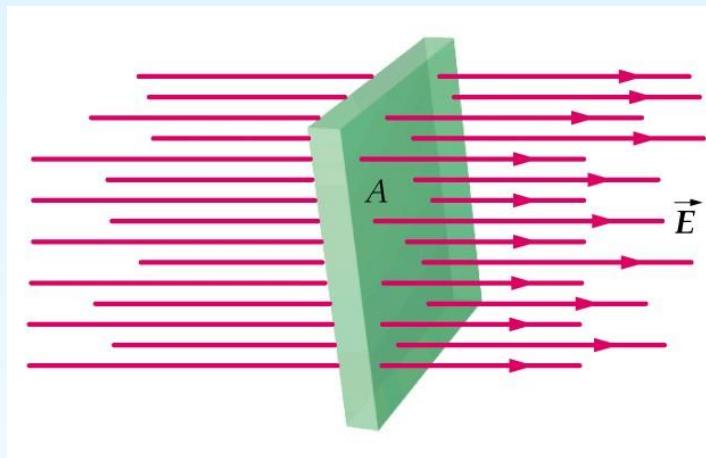
Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. **Ley de Gauss**. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.

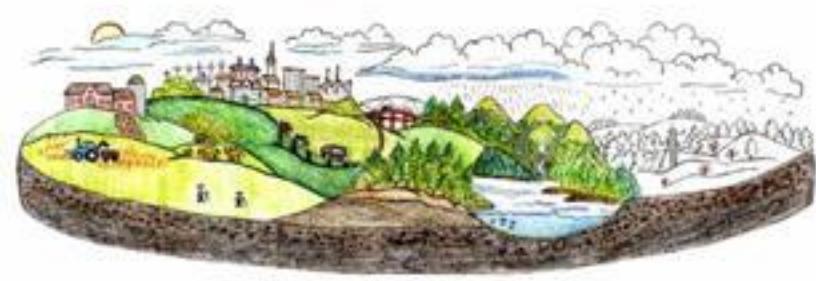
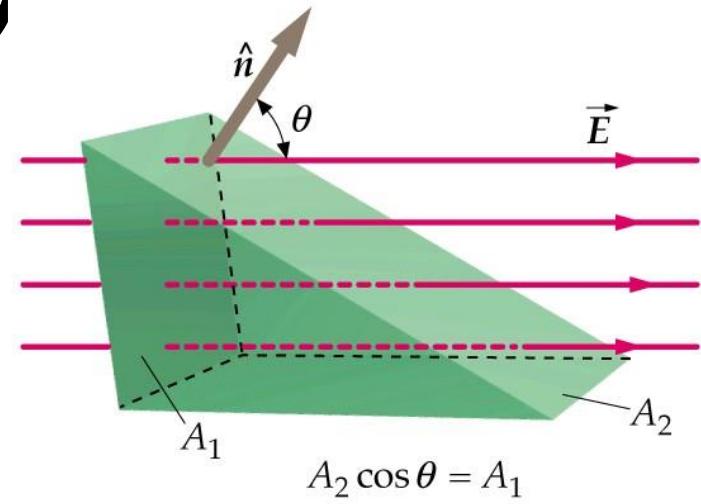


El flujo eléctrico (ϕ)

- El campo eléctrico (\vec{E}) es proporcional a:
 - número de líneas (N)
 - por unidad de área (A)
 - Se trata de una densidad de flujo
- El flujo total
$$\begin{aligned}\phi &= \vec{E} \cdot \hat{n} A \\ &= E A \cos \theta \\ &= E_h A\end{aligned}$$



Componente perpendicular a la superficie



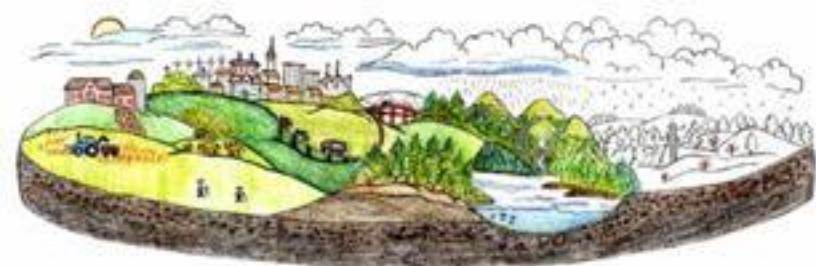
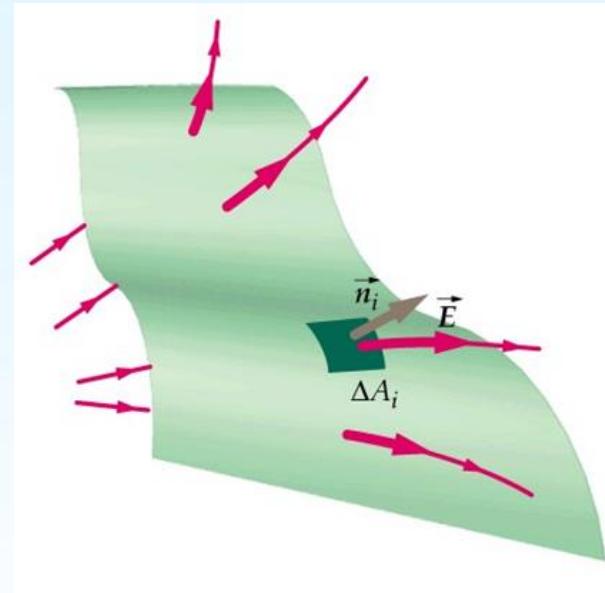
El flujo eléctrico (ϕ)

- Para superficies curvas
 - La superficie A es una suma de pequeños elementos ΔA

$$\Delta\phi_i = \vec{E} \cdot \hat{n}_i \Delta A_i$$

$$\phi = \sum_i \Delta\phi_i$$

$$\phi = \int \vec{E} \cdot \hat{n} dA$$

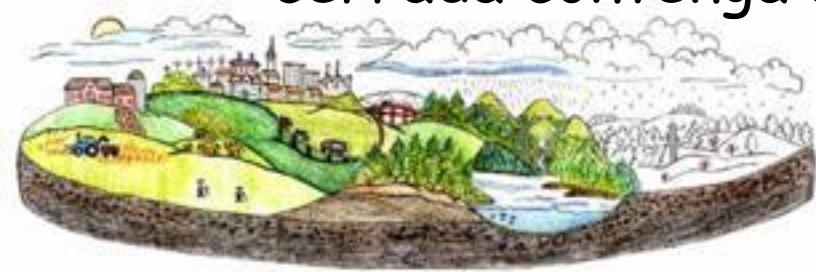
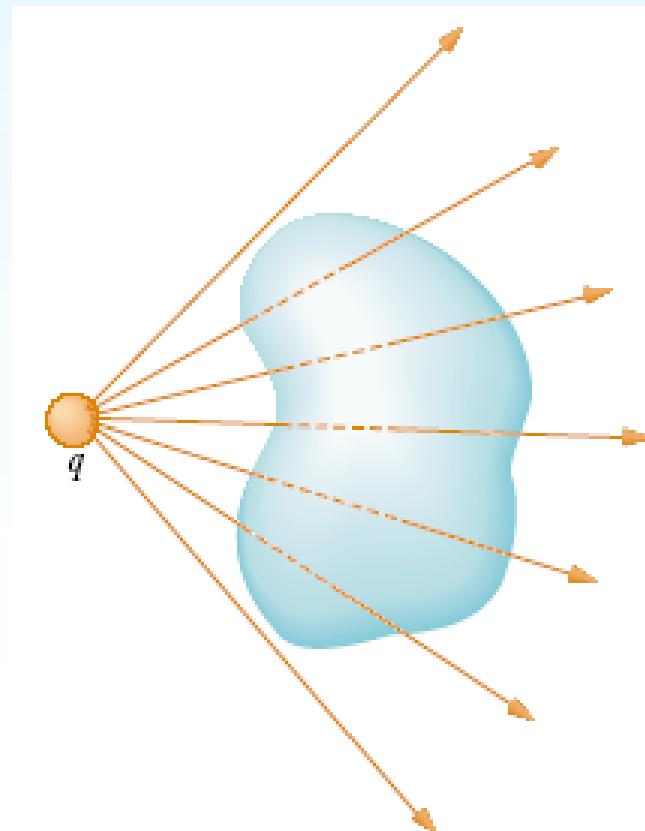


Ahora, acordándonos que las líneas empiezan o terminan sólo en las cargas, vamos a considerar lo que pasa para una superficie cerrada

El flujo eléctrico por una superficie cerrada

$$\phi_{net} = \oint \mathbf{E} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA = \oint E_n d\ell$$

- Recuerdo: las líneas empiezan o terminan sólo en las cargas
- En el dibujo, cada línea que entra la superficie, también sale ($\phi_{net} = 0$)
- Consecuencia
 - Para que $\phi_{net} \neq 0$...
 - ... es necesario que la superficie cerrada contenga una carga

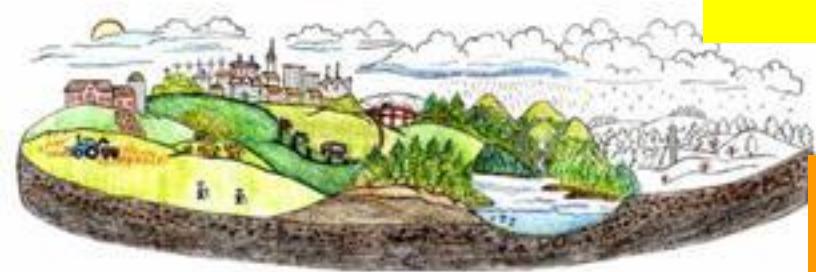
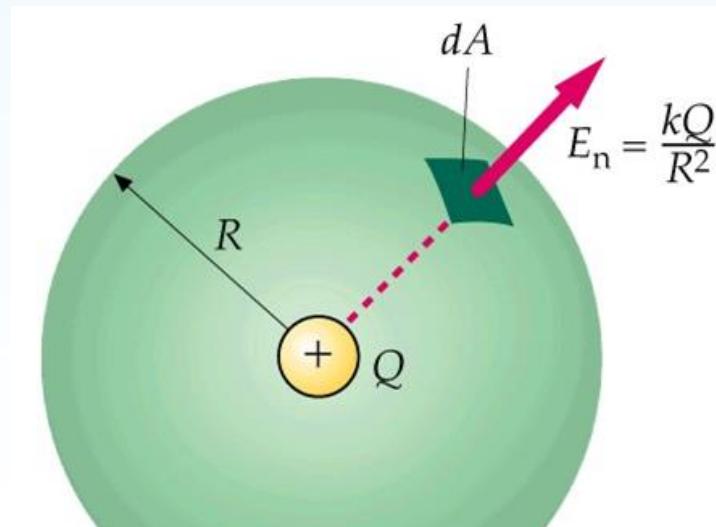


La geometría más sencilla

Ley de Gauss

- Carga eléctrica Q dentro de una esfera de radio R
 - El campo eléctrico en cualquier punto de la superficie es $E = \frac{kQ}{R^2}$ con dirección radial
 - \hat{n} es también radial, por lo que $\vec{E} \cdot \hat{n}$ en cada punto $E_n = \vec{E} \cdot \hat{n} = \frac{kQ}{R^2}$
- Para determinar el flujo neto (Φ), hay que sumar para toda la superficie $A = 4\pi R^2$

$$\begin{aligned}\Phi_{net} &= \int \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \int E_n dA \\ &= \int \frac{kQ}{R^2} dA = \frac{kQ}{R^2} 4\pi R^2 \\ &= 4\pi k Q\end{aligned}$$



El flujo neto saliendo de una superficie cerrada es proporcional a la carga en el interior

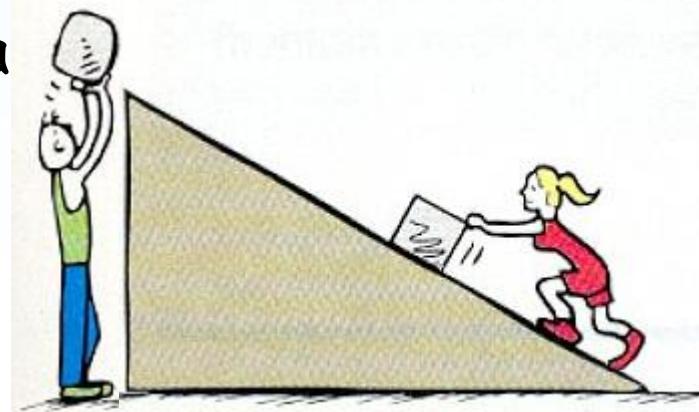
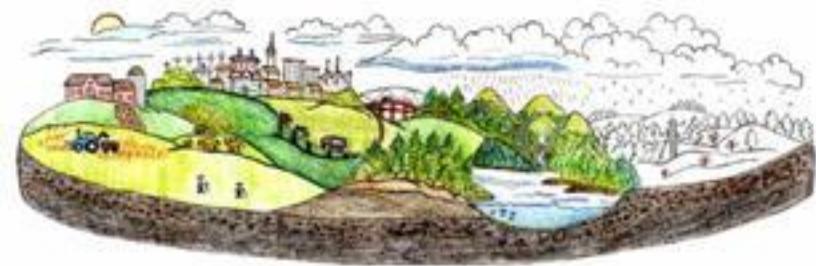
Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. **Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales.** Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



Trabajo en un campo

- En un campo gravitacional, la energía potencial ($U=mgh$) nos permite definir
 - El trabajo necesario para levantar un objeto desde una altura h_1 hasta h_2 $mg(h_2-h_1)$
 - Representa una diferencia de potencial
- Propiedad de interés
 - No depende del camino seguido
 - Porque gravedad es una fuerza "conservativa"



Trabajo en un campo electrostático

- La fuerza eléctrica ($\vec{F} = q_0 \vec{E}$) también es conservativa
- Mueve carga de prueba desde el punto A al punto B

- Trabajo realizado por el campo eléctrico

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F dS$$

- Realiza trabajo a costa de su energía potencial (U)

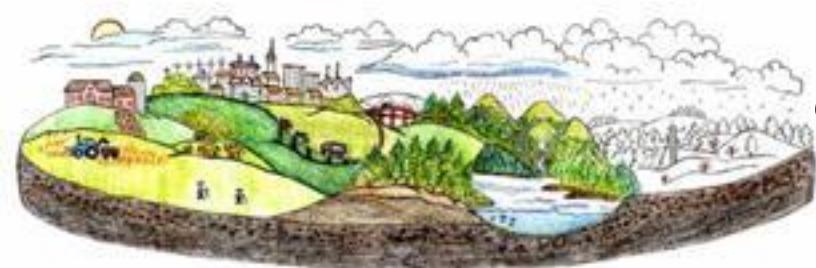
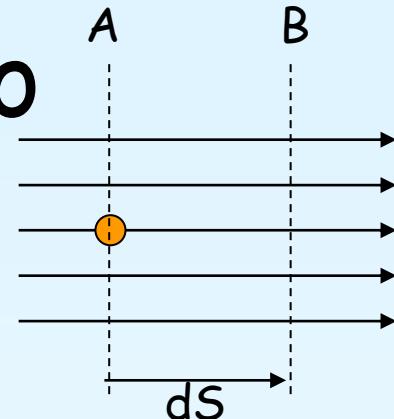
$$dU = -F dS = -q_0 E dS$$

- Para movimientos finitos:

$$\Delta U = -q_0 \int E d\vec{s}$$

energía potencial

depende de la
carga involucrada
(inconveniente)



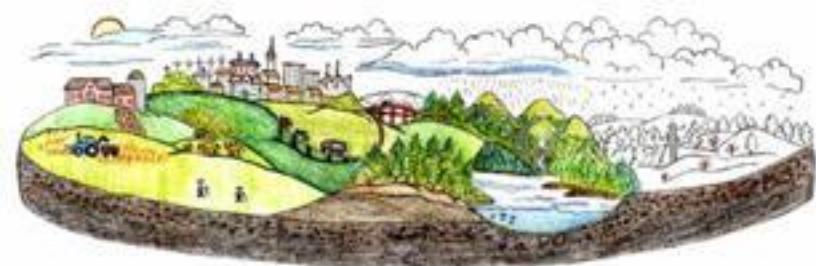
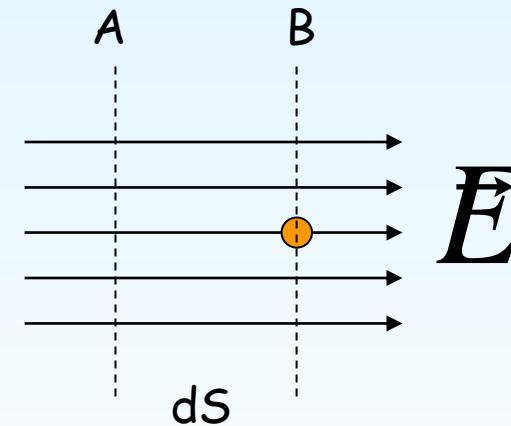
Energía potencial eléctrica, normalizada por la carga

- Es interesante quitar la dependencia en la carga involucrada

$$\Delta V = \frac{\Delta U = -q_0 \int E d\mathbf{S}}{q_0}$$

$$\Delta V = - \int E d\mathbf{S}$$

“Diferencia de potencial eléctrico”



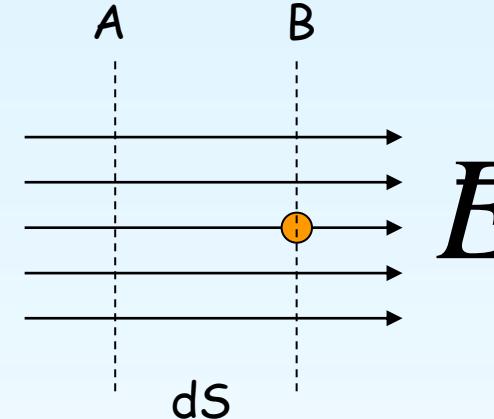
Son las diferencias de potencial que pueden realizar trabajo

Diferencia de potencial eléctrico

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0}$$

“Tensión”
“Voltaje”

- El trabajo necesario por unidad de carga para mover una carga desde A hasta B *sin aceleración*
- El cambio de energía (J) por unidad de carga (C) para mover una carga, debida a diferencias del potencial eléctrico
- La unidad de diferencia de potencial ΔV en el S.I. es **el voltio (1V=1J/C)**.



Unidades del Campo Eléctrico

Trabajo Eléctrico

- Por su definición original:
 - Unidades de E : **N/C**

$$E = \frac{F}{q}$$

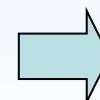
- Pero a partir de lo anterior:
 - Unidades de E : **V/m**

$$\Delta V = - \int E dS \rightarrow E = \frac{\Delta V}{\Delta S}$$

- Por lo cual unas **unidades equivalentes**

- Igualando, tenemos:

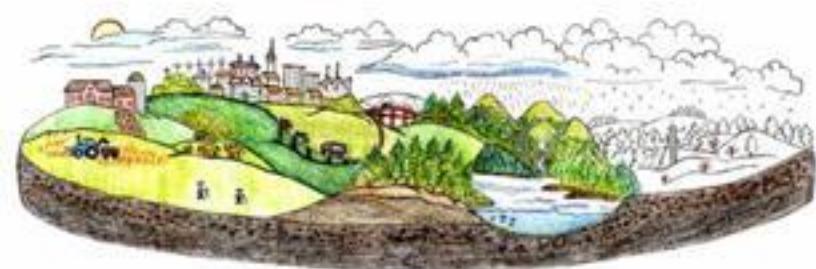
$$\frac{F}{q} = \frac{\Delta V}{\Delta S}$$



$$F \cdot \Delta S = q \Delta V$$

Expresiones de trabajo

- Por eso, los físicos atómicos definen el **electronvoltio** (eV) como el trabajo para mover una partícula por un voltio



$$1 \text{ eV} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) (1 \text{ V}) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Carga de un
Electrón/protón

Unidad de
energía

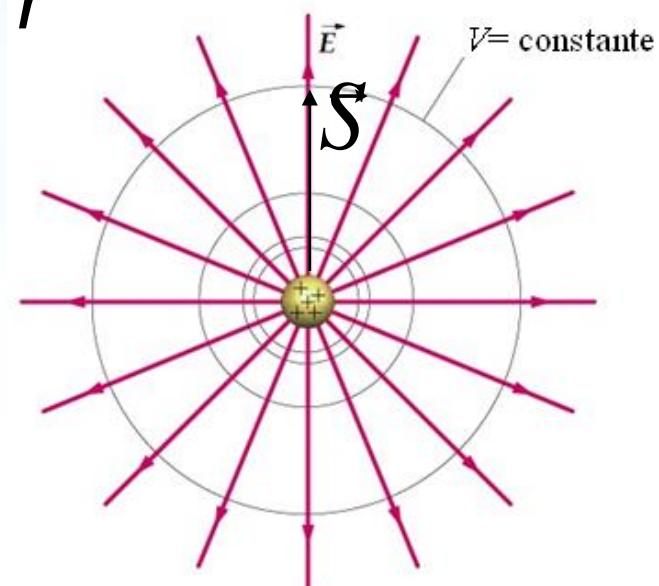
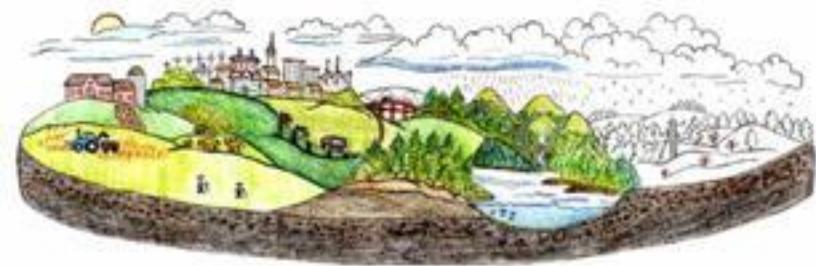
Superficies equipotenciales

- Una superficie sobre la cual el potencial eléctrico es constante
- Ejemplo: examinamos el potencial producido por una carga puntual Q

$$E = \frac{F_e}{q_0} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

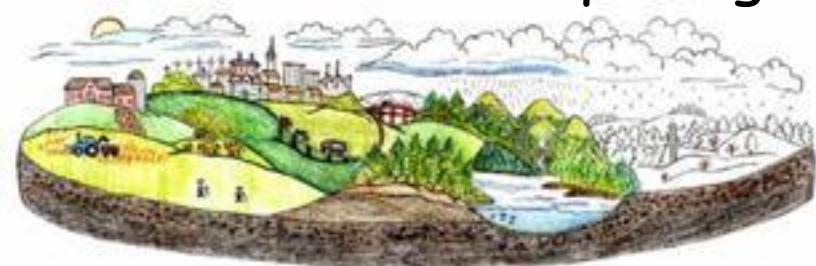
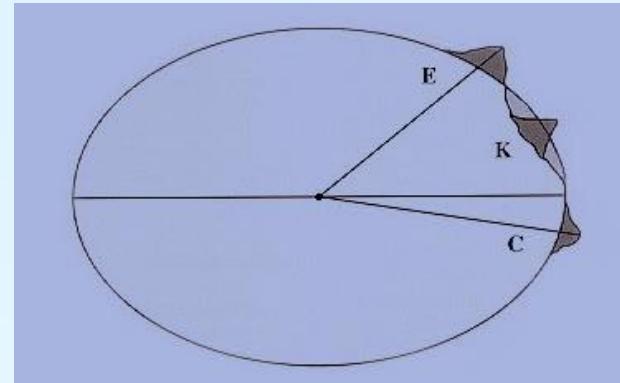
$$\Delta V = - \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = -Er = k_e \frac{Q}{r}$$

- Las superficies $r=cte$ (superficies esféricas concéntricas) son las superficies equipotenciales



Notación

- Terminología
 - Llamarlo **"Tensión"** o **"Voltaje"**
 - Se trata de una diferencia de potencial eléctrico
 - Es una cantidad *relativa*
- Es cómo altura; ¿qué montaña es la más alta?
 - Everest: 8,848 m encima del nivel del mar
 - Mauna Kea: > 10,000m encima de su base
 - Chimborazo: 6,384,404 m desde centro de Tierra
- En muchos libros se expresa siempre como **ΔV**
 - A partir de ahora, podemos usar V
 - Sabiendo que significa diferencia de potencia



Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales.
Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



Distribución de Carga

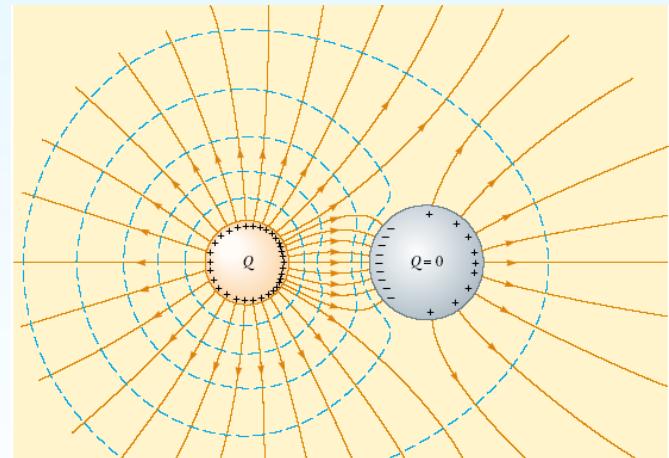
- Potencial eléctrico en el punto P
 - Potencial debido a un punto solo (dq)
 - Distribución de carga
 - Suma de las aportaciones
- Hay que conocer la distribución

$$dV = k_e \frac{dq}{r}$$
$$V = k_e \int \frac{dq}{r}$$

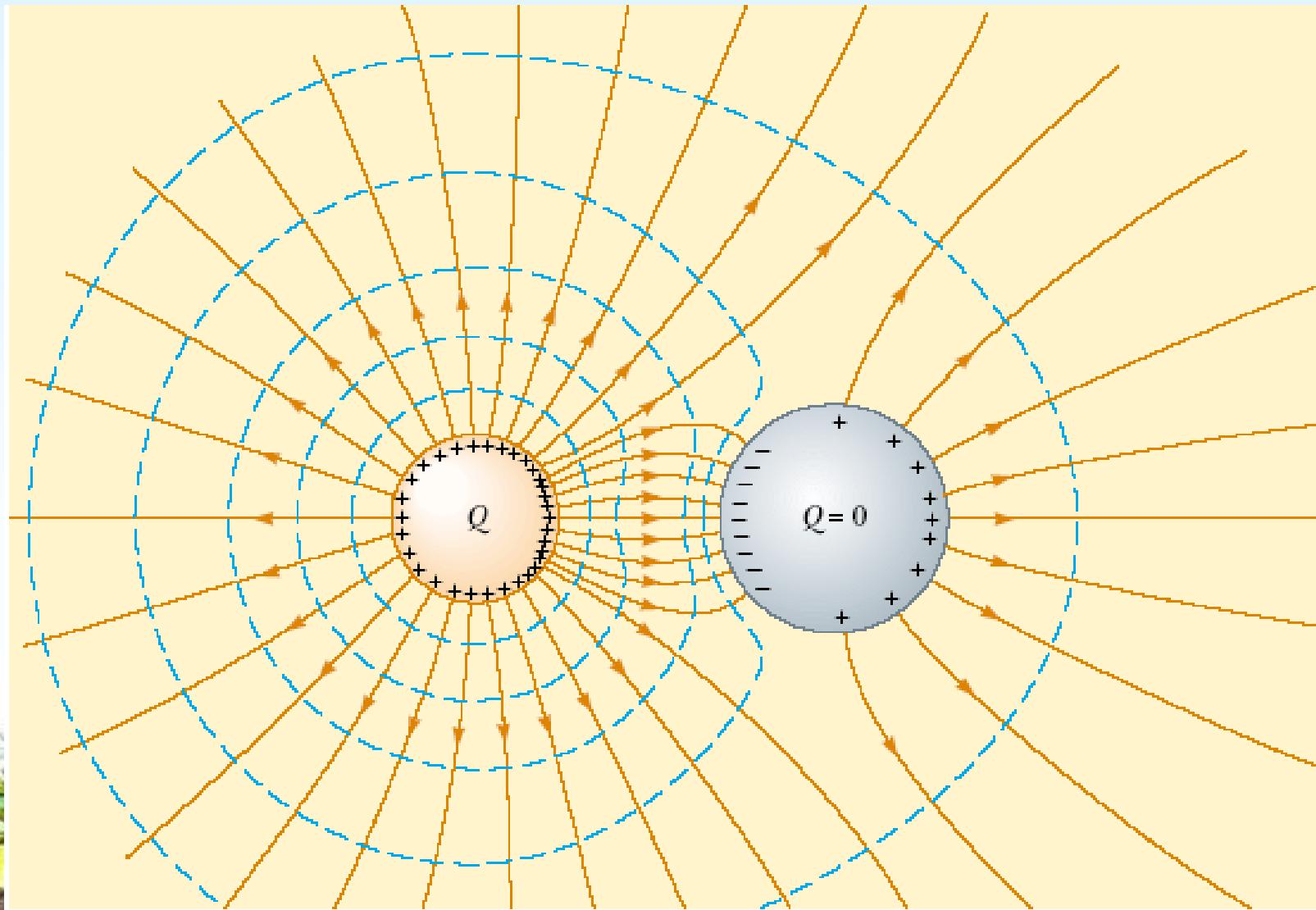


Distribución de Carga

- En general, dos conductores separados en el espacio no estarán al mismo potencial
- La diferencia de potencial entre ambos depende de
 - Sus formas geométricas
 - Su separación
 - La carga neta en cada uno de ellos.

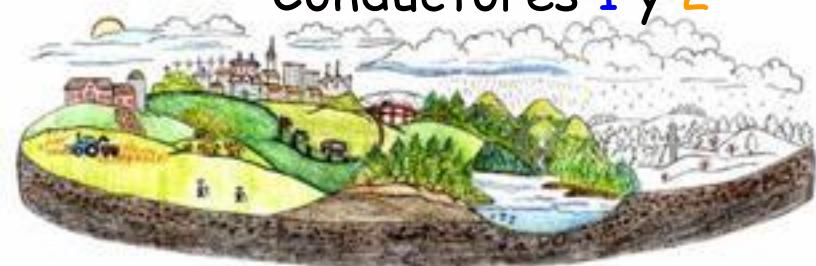


Distribución de Carga

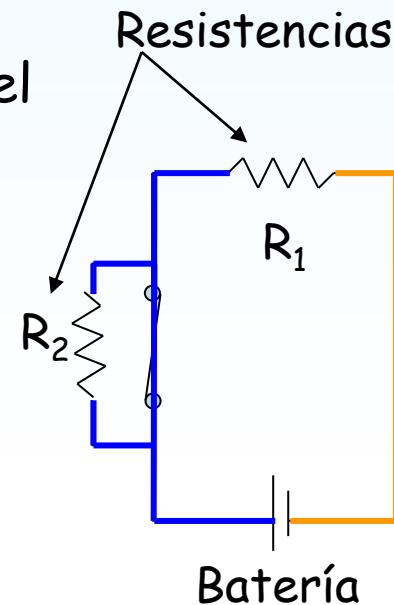


Distribución de Carga

- En general, dos conductores separados en el espacio no estarán al mismo potencial
- La diferencia de potencial entre ambos depende de
 - Sus formas geométricas
 - Su separación
 - La carga neta en cada uno de ellos.
- Cuando se ponen en contacto dos conductores
 - La carga situada en ellos se distribuye por sí misma
 - Transferencia de carga de uno a otro
 - En equilibrio electrostático el campo eléctrico en el interior de los conductores es cero
 - Ambos conductores tienen el mismo potencial
- 2 conductores en contacto = 1 conductor
 - Conductores 1 y 2



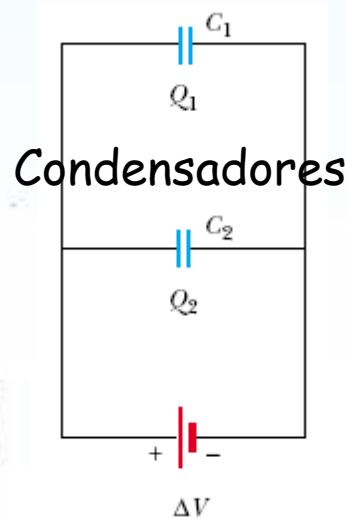
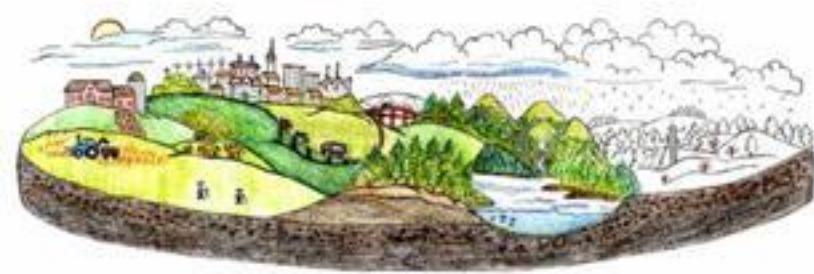
Al cerrar el contacto, la batería y la R_1 están en contacto (y la R_2 no tiene relevancia)



Condensadores y Capacidad

- Condensador : un tipo de elemento que interviene en los circuitos eléctricos (radio, ordenador, etc.)
 - Almacena y cede carga y energía eléctrica
- Capacidad (C): propiedad que caracteriza las posibilidades de almacenamiento de un condensador
 - Unidades: Faradio (F): $1 F = 1 C / 1 V$
- Cuantifica la cabida de carga
 - por unidad de voltaje

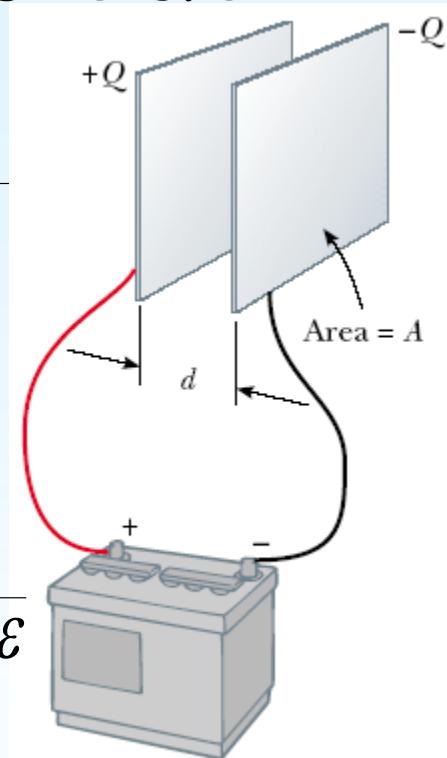
$$C = \frac{Q}{V}$$



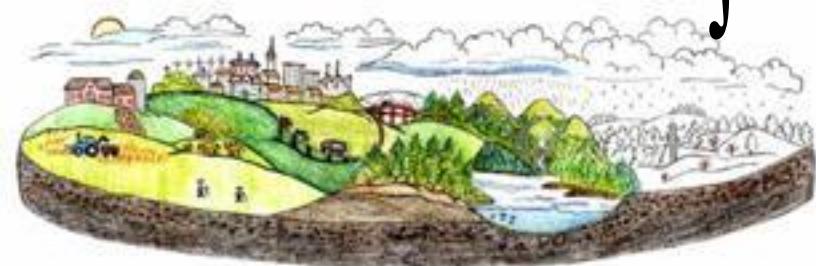
Condensadores y Capacidad

- El condensador...
 - de láminas paralelas
- Recordar (Diap. 18) dependencia del campo eléctrico (E) en la superficie (geometría esférica); diferenciar entre:
 - Flujo (\oint)
 - Densidad de flujo (E) $E = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$ $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon}$
- Geometría plana: $E = \frac{Q}{\epsilon A} \hat{n}$
- Potencial : $V = \int dV = \int -E \cdot ds = \int_0^d E dx = \frac{Q}{\epsilon_0 A} d$

$$C = \frac{Q}{V}$$

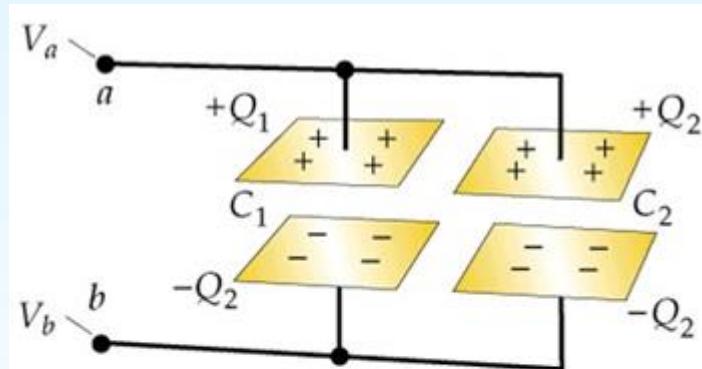


Capacidad: $C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$



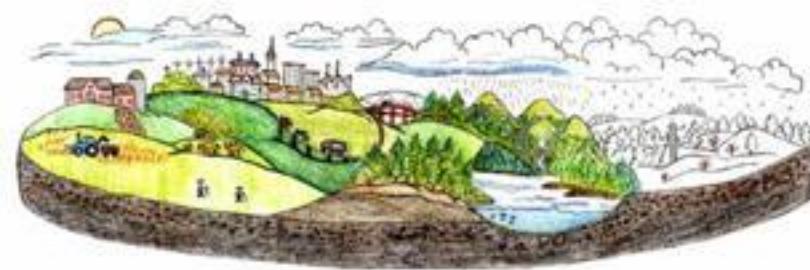
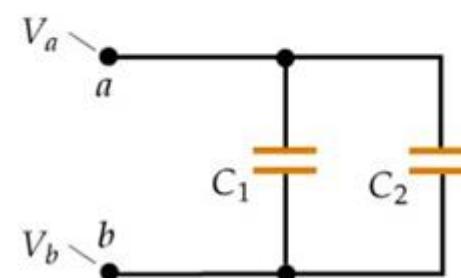
Condensadores en paralelo

- El efecto de añadir otro condensador
 - Aumentar el área
 - Aumentar la capacidad
 - Más carga ($Q = Q_1 + Q_2$)
 - Misma diferencia de potencial (V)



$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 V + C_2 V = (C_1 + C_2) V$$

$$C_{ef} = \frac{Q}{V} = C_1 + C_2$$



Condensadores en paralelo: la capacidad total es la suma de las capacidades

Condensadores en serie

- El efecto de añadir otro condensador

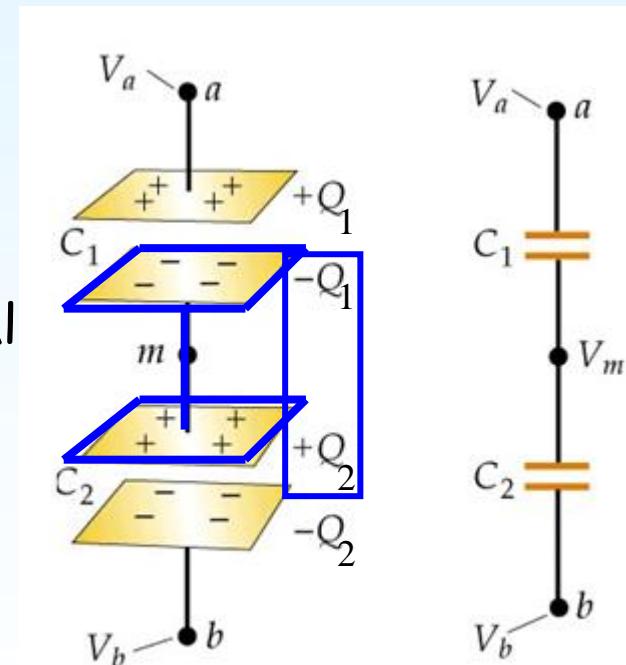
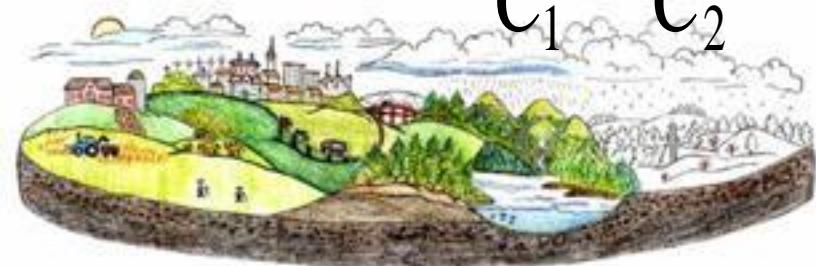
- Truco: reconocer un conductor aislado

- Su carga inicial es cero (cuando $V_a - V_b = 0$)
 - Su carga neta se conserva
 - $Q_2 + (-Q_1) = 0$
 - $Q = Q_1 = Q_2$

- Repartición de la diferencia de potencial

$$V_a - V_m = \frac{Q}{C_1} \quad V_m - V_b = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_a - V_b = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad V_a - V_b = \frac{Q}{C_{ef}}$$

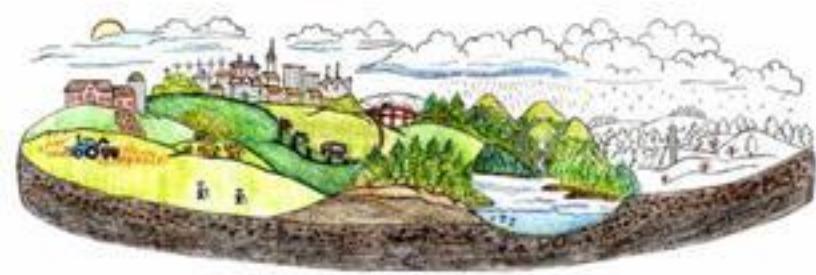


Condensadores en serie:

$$\frac{1}{C_{ef}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

Energía almacenada por un condensador

- Recuerdo de las unidades: $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
- Diferencia de potencial: energía por unidad de carga $dU = V d\zeta$
- Para un condensador, tenemos $V = \frac{q}{C}$
- Pues: $dU = \frac{q}{C} d\zeta$
- Por lo cual, la energía necesaria para cargar un condensador desde $q=0$ hasta $q=Q$ es $\Delta U = \int dU$



$$= \int_0^Q \frac{q}{C} d\zeta = \frac{1}{C} \int_0^Q q d\zeta = \frac{Q^2}{2C}$$

Programa

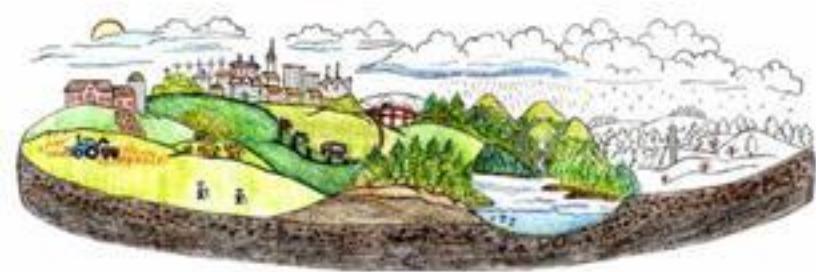
- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. **Energía del campo electrostático. Dieléctricos.**



Energía del campo electrostático

- Al cargar un condensador por un incremento dq , se crea un campo eléctrico
- El trabajo (W) para transferir una carga adicional (dq) es el producto de
 - la fuerza ($F = E dq$)
 - por la distancia d
- Entonces el trabajo para aumentar $E=0$ hasta $E=E_0$ es

$$\begin{aligned} W &= \int dW = (\epsilon_0 A d) \int_0^{E_0} E dE \\ &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 A d \end{aligned}$$

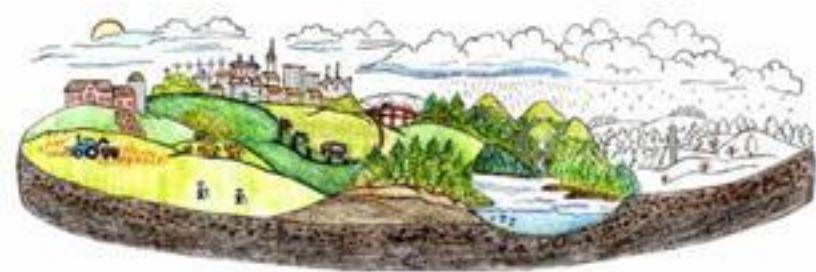


Energía potencial electrostática $U = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 A d$

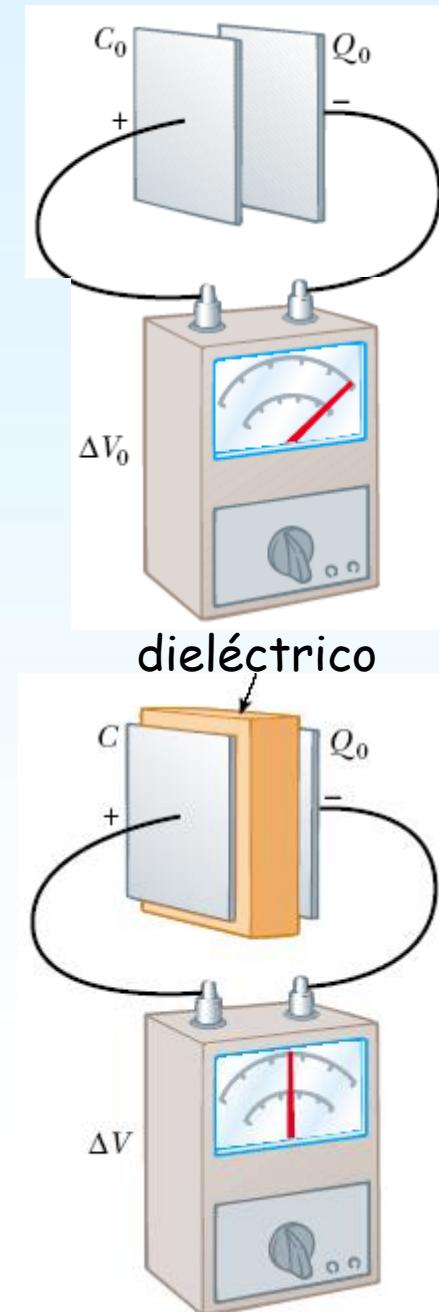
$$\begin{aligned} dE &= \frac{dq}{\epsilon_0 A} \\ dq &= \epsilon_0 A dE \end{aligned}$$

Dieléctricos

- Material no conductor (madera, caucho,...)
 - Cuando ocupa el espacio entre dos conductores
 - La capacidad aumenta en un factor κ
 - Característico del dieléctrico
 - "Constante dieléctrica" del material
- Experimentalmente
 - Empezamos con un condensador (C_0) con carga (Q_0)
 - Medimos la diferencia de potencial (V_0)
 - Al introducir un dieléctrico entre las placas
 - Disminuye la diferencia de potencial ($V = V_0 / \kappa$)
 - La carga (Q_0) se conserva
 - Incrementa también la capacidad



$$C = \frac{Q}{V} = \kappa C_0$$

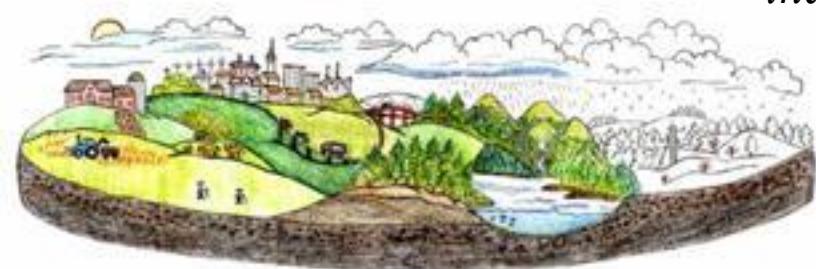
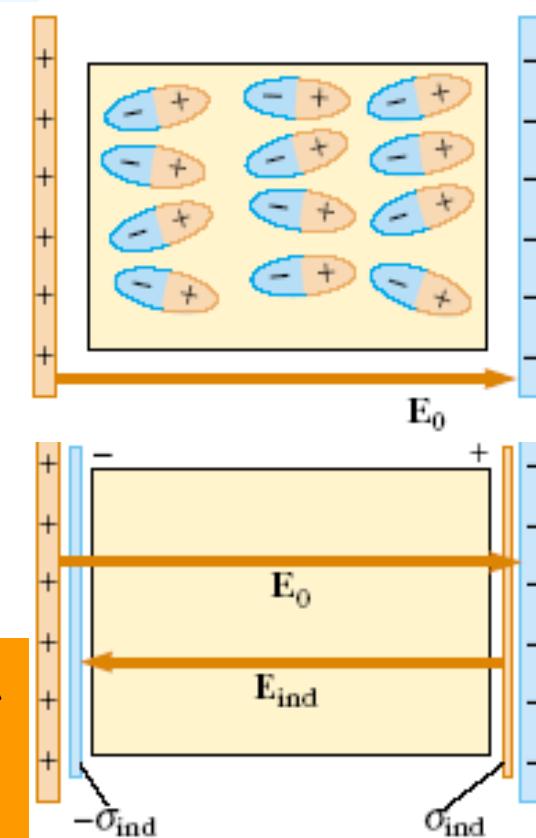
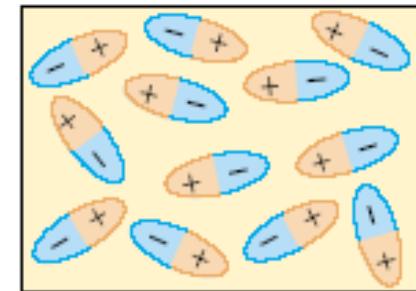


Dieléctricos: modelo sencillo de cómo funcionan

- Empezamos con unos moléculas con
 - Orientaciones aleatorias
 - Cargas asimétricas
- Al aplicar un campo eléctrico (E_0)
 - Las moléculas se orientan
 - Distribución de carga no aleatoria
 - Más carga negativa a la izquierda
 - Más carga positiva a la derecha
- La nueva distribución afecta el E
 - Igual que un par de placas (σ_{ind})
 - "Campo inducido" E_{ind}

$$E = E_0 + E_{ind}$$

El dieléctrico actúa para reducir el campo eléctrico

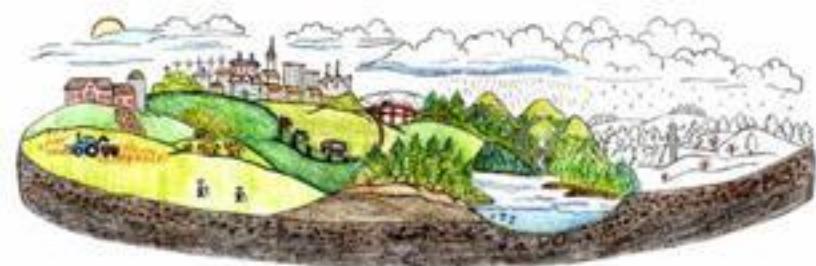


Para los condensadores de láminas paralelas

- En ausencia de un dieléctrico
- Para incrementar C, solo hay que reducir d
 - Pero en la práctica, si reducimos d demasiado
 - Se produce una ruptura del dieléctrico
 - Descarga violenta (chispa, o arco)
- Dos ventajas de un dieléctrico
 - Aumenta la capacidad
 - Mayor resistencia a la ruptura que el aire

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$$C = \kappa \frac{\epsilon_0 A}{d}$$



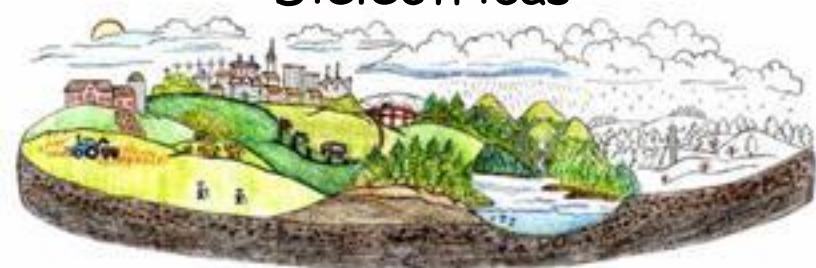
Dieléctricos comunes



Material	Constante dieléctrica (κ)	Resistencia a la ruptura (10^6 V/m)
Air (dry)	1.000 59	3
Bakelite	4.9	24
Fused quartz	3.78	8
Mylar	3.2	7
Neoprene rubber	6.7	12
Nylon	3.4	14
Paper	3.7	16
Paraffin-impregnated paper	3.5	11
Polystyrene	2.56	24
Polyvinyl chloride	3.4	40
Porcelain	6	12
Pyrex glass	5.6	14
Silicone oil	2.5	15
Strontium titanate	233	8
Teflon	2.1	60
Vacuum	1.000 00	—
Water	80	—

Conceptos/Ecuaciones a Dominar

- Conceptos básicos
 - Carga: conservación y transferencia; conductores y Aislantes
- Ley de Coulomb $F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$
- El Campo eléctrico $E = \frac{F}{q_0}$
 - Líneas de campo; Flujo eléctrico
 - Ley de Gauss $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \int \vec{E}_h d\ell$
- Energía en un campo electrostático
 - Trabajo y energía Potencial $\Delta U = -q_0 \int \vec{E} d\vec{S}$
 - Diferencia de Potencial $\Delta V = - \int \vec{E} d\vec{S} = \frac{\Delta U}{q_0}$
- Condensadores y capacidad
 - Energía almacenada
 - Dieléctricas



fin

