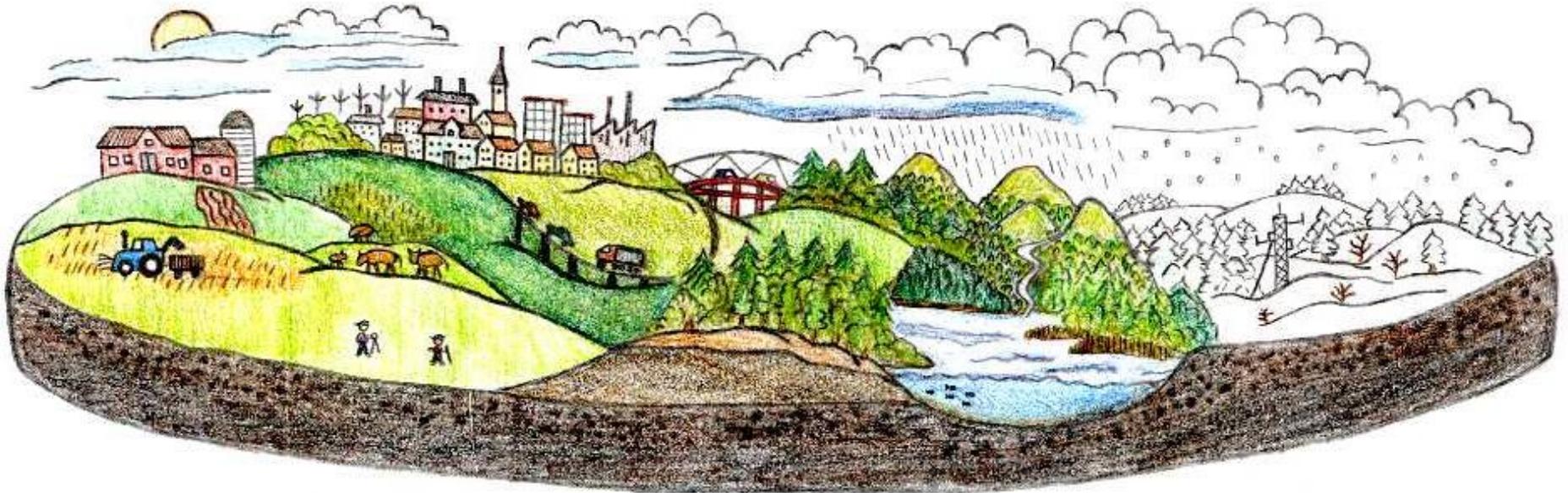


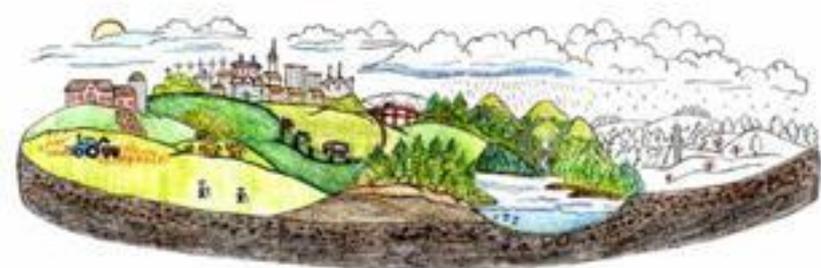
# Bases Físicas del Medio Ambiente

## Corriente Eléctrica y Circuitos de Corriente Continua



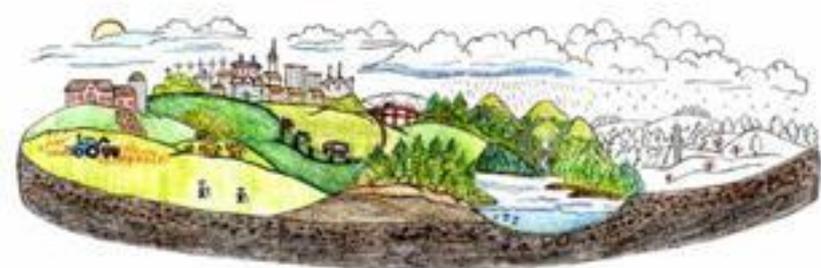
# Programa

- **XII. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.(2h)**
- Corriente. Ley de Ohm. Resistencia. Conductores, aislantes y semiconductores. Superconductividad. Energía de los circuitos eléctricos. Fuerza electromotriz. Asociaciones de resistencias. Redes eléctricas: reglas de Kirchhoff. Circuito RC. Instrumentos para mediciones eléctricas.

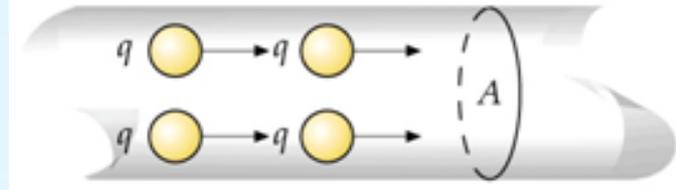


# Programa

- **XII. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.(2h)**
- **Corriente. Ley de Ohm.** Resistencia. Conductores, aislantes y semiconductores. Superconductividad. Energía de los circuitos eléctricos. Fuerza electromotriz. Asociaciones de resistencias. Redes eléctricas: reglas de Kirchhoff. Circuito RC. Instrumentos para mediciones eléctricas.



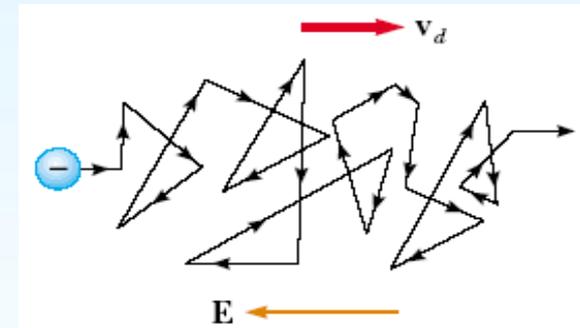
# Corriente eléctrica



- Flujo neto de carga

- a través de una materia con superficie (A)
- Signo: + en la dirección del flujo de carga positiva
  - Como el flujo de protones (acelerador)
  - Opuesto al flujo de electrones (metales)
  - En general: flujo de ambos
- Definido por promedios (continuo)

$$I_{pro} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad I_{inst} = \frac{dQ}{dt}$$

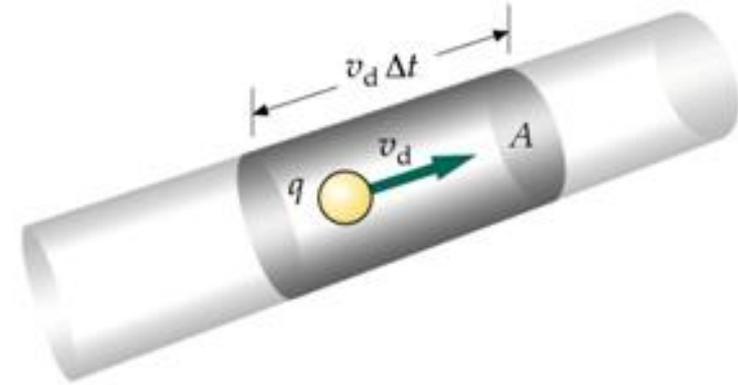


- Relación con la velocidad de desplazamiento ( $v_d$ )
- La unidad (S.I.) de la corriente: el Amperio
  - Se puede definir  $1A = 1C/1s$
  - Pero más correcto:  $1C = (1A)(1s)$
  - El amperio es la *unidad fundamental* (convenio arbitrario)



# Densidad de corriente

- Corriente: flujo *neto* de carga
  - No se define por unidad de superficie
  - Analogía: la corriente (caudal) de agua
- Por unidad de área (A) definimos  $J = \frac{I}{A}$ 
  - La densidad de corriente,
  - ¿Cómo?

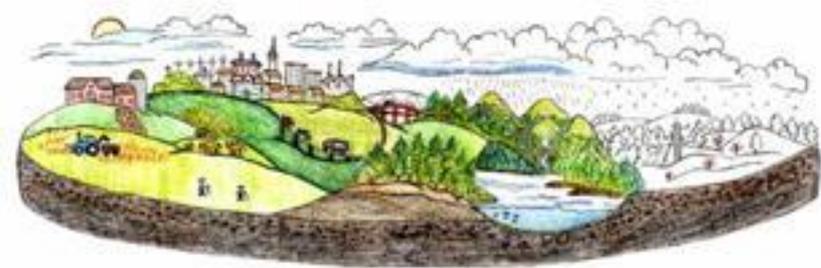


- $n$  = el nº de partículas portadoras libres de carga por unidad de  $V$
- En un tiempo ( $\Delta t$ ), todas las partículas en el volumen ( $A v_d \Delta t$ ) pasan a través de A, con carga total  $\Delta Q = q n A v_d \Delta t$

- La corriente es 
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n q v_d A$$

- Entonces la densidad de corriente es 
$$J = \frac{I}{A} = n q v_d$$

En general,  $J = n q v_d$  no confinada en un conductor



# Corriente y densidad de corriente

- Densidad de corriente:  $\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d$ 
  - Posee el sentido de  $\mathbf{v}_d$  si la carga es positiva
  - Sentido opuesto si  $q$  es negativo
- Corriente debida a partículas con diferentes
  - Densidades
  - Cargas
  - Velocidades
$$\mathbf{J} = \sum_i n_i q_i (\mathbf{v}_d)_i$$
- Para  $\mathbf{J}$  constante en toda el área  $A$ ,  $I = \mathbf{J} \cdot nA$
- Para  $\mathbf{J}$  no constante en toda el área  $A$ ,  $I = \int \mathbf{J} \cdot n dA$



# Resistencia

## Ley de Ohm

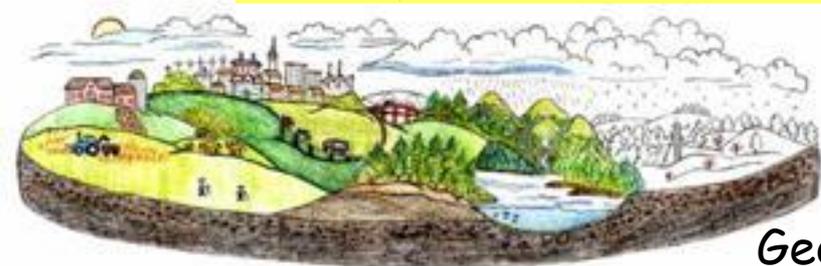
- Densidad de corriente:  $\vec{J} = nq\vec{v}_d$
- (Recuerdo) En equilibrio electrostático: el campo eléctrico en el interior de un conductor es cero
- Equilibrio no electrostático, la carga libre se mueve
  - Conductor que transporta corriente ...
  - ... existe un campo en su interior
  - Ocurre cuando se aplique una diferencia de potencial al conductor
- Para muchos conductores, resulta que  $\vec{J}$  es proporcional a  $\vec{E}$

La mayoría de los metales

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

conductividad

Georg Simon Ohm (1789-1854)



# Ley de Ohm para Circuitos

- Ley de Ohm  $J = \sigma E$
- Corriente:  $I = JA = \sigma EA = \sigma A \frac{V}{L}$
- Despejar la tensión:  $V = I \frac{L}{\sigma A}$

$$V = IR$$

Resistencia  $R$  del segmento de conductor, con:

$$R = \frac{L}{\sigma A}$$

$L$ : longitud del segmento

$A$ : Área del segmento

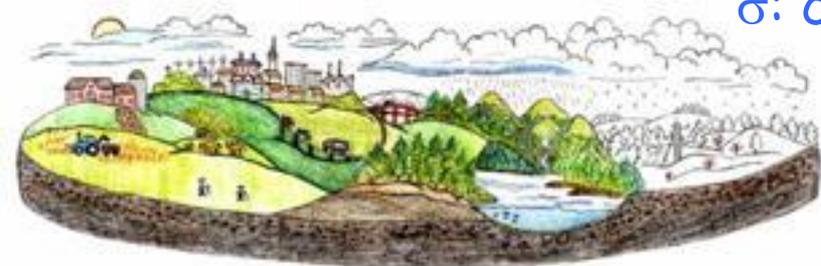
$\sigma$ : conductividad

$$R \propto L$$

$$R \propto \frac{1}{A}$$

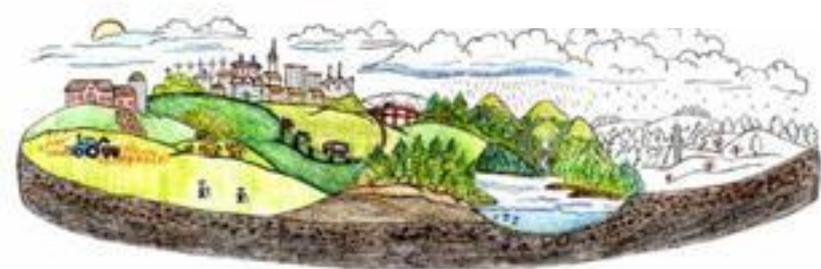
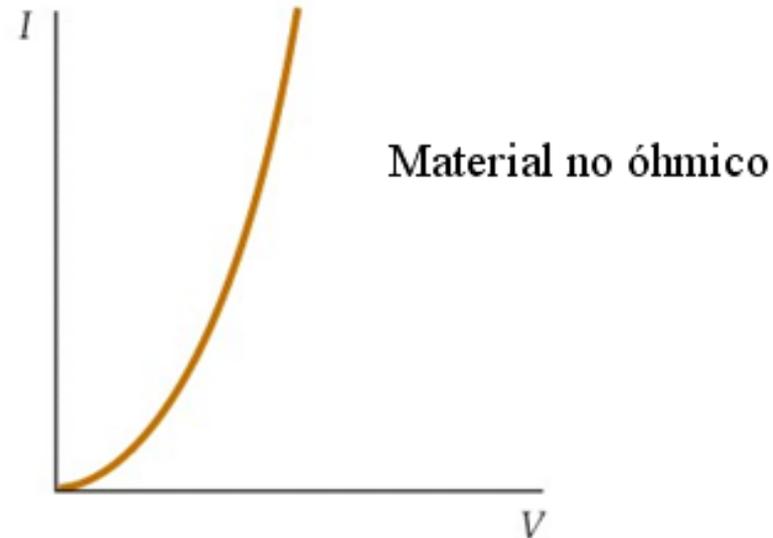
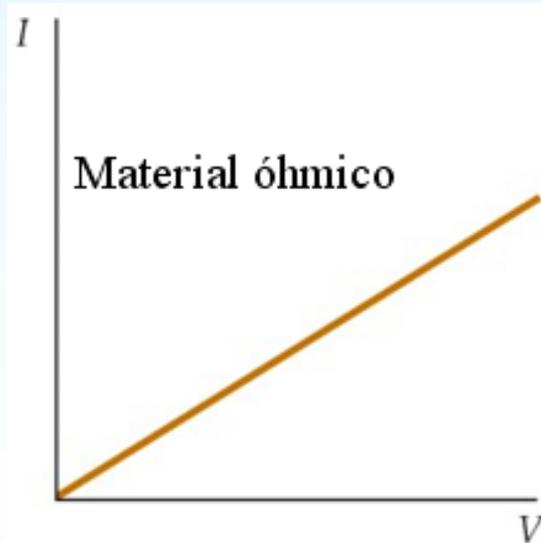
$$R \propto \frac{1}{\sigma} = \rho$$

resistividad



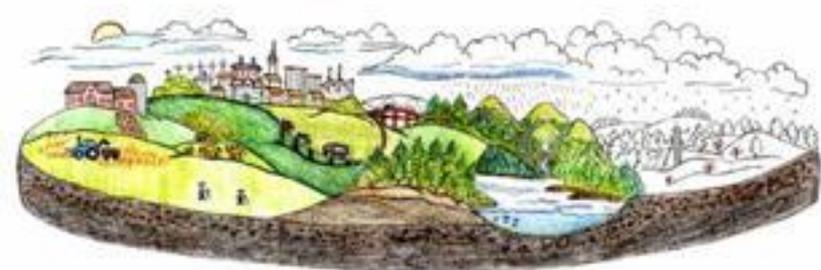
# Materiales Óhmicos

- Ley de Ohm  $V=IR$
- En sustancias óhmicas, la caída de tensión (V) en un segmento de conductor es proporcional a la intensidad (I) que circula por él



# Programa

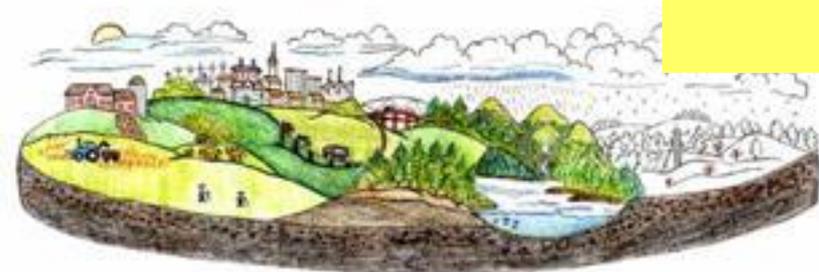
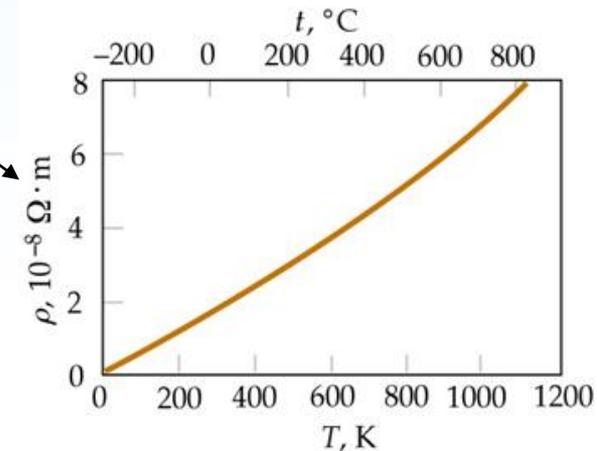
- XII. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.(2h)
- Corriente. Ley de Ohm. Resistencia. Conductores, aislantes y semiconductores. Superconductividad. Energía de los circuitos eléctricos. Fuerza electromotriz. Asociaciones de resistencias. Redes eléctricas: reglas de Kirchhoff. Circuito RC.
- Instrumentos para mediciones eléctricas.



# Resistencia: unidades y sensibilidad a la temperatura

- Ley de Ohm  $V = IR$
- Resistencia:  $R = \frac{V}{I}$  Unidad: el ohmio ( $\Omega$ )  $1\Omega = 1V / 1A$
- Resistencia, frente a resistividad:  $R = \frac{L\rho}{A}$  propiedad del material  
depende de las dimensiones
- En general, para un metal  $\rho = \rho(T)$ :  $\rho = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$ 
  - con  $\rho_0$  - la resistividad a  $T_0$
  - con  $\alpha$  - coeficiente térmico de resistividad (propiedad del material)

Unidades de la resistividad  
 $\Omega \cdot m$



# Resistores

Color	Valor	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	$10^0 (= 1)$	
Marrón	1	$10^1$	
Rojo	2	$10^2$	
Naranja	3	$10^3$	
Amarillo	4	$10^4$	
Verde	5	$10^5$	
Azul	6	$10^6$	
Violeta	7	$10^7$	
Gris	8	$10^8$	
Blanco	9	$10^9$	
Dorado			5%
Plateado			10%
Sin color			20%



Rojo

2

Violeta

7

Verde

5

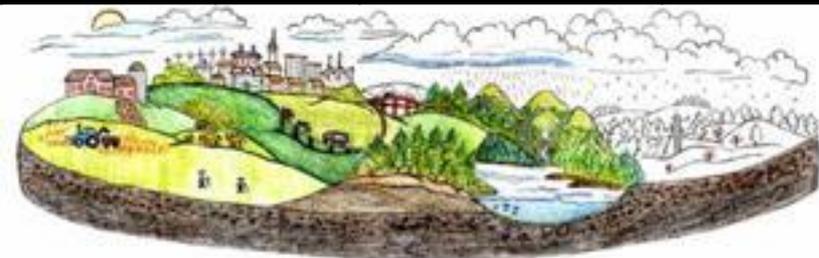
Dorado

5%

$$27 \cdot 10^5 \pm 5\%$$

Implícito

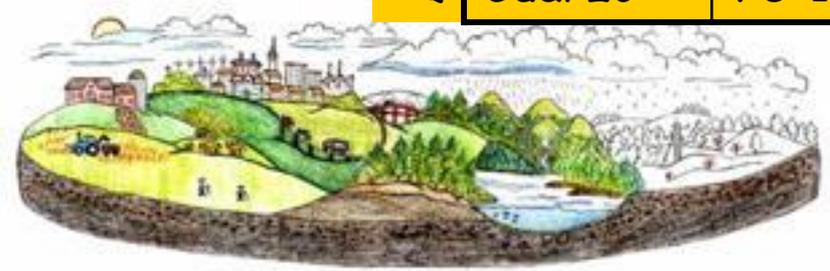
Valor del resistor:  $2.7 \text{ M}\Omega (\pm 5\%)$



# Resistividades

	Material	Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Coeficiente térmico $\alpha$ [ $^{\circ}C$ ] $^{-1}$ ]
Conductores	Plata	$1.59 \cdot 10^{-8}$	$3.8 \cdot 10^{-3}$
	Cobre	$1.7 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
	Oro	$2.44 \cdot 10^{-8}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
	Aluminio	$2.82 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
	Hierro	$10 \cdot 10^{-8}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$
	Plomo	$22 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
	Semiconductores	Carbono	$3.5 \cdot 10^{-5}$
Germanio		0.46	$-48 \cdot 10^{-3}$
Silicio		640	$-75 \cdot 10^{-3}$
Aislantes	Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$	
	Caucho	$10^{13}$	
	Cuarzo	$75 \cdot 10^{16}$	

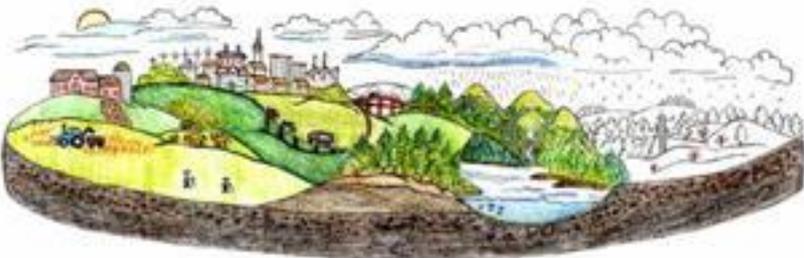
Semiconductores



# Semiconductor

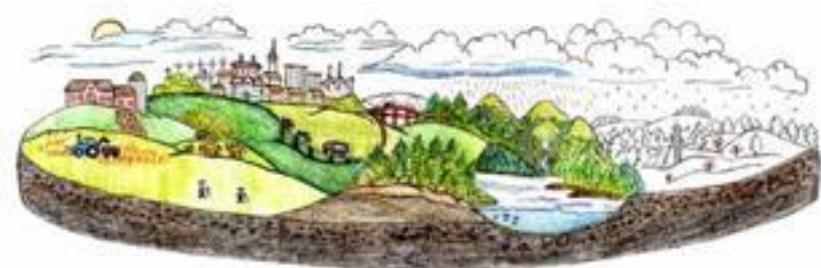
# Superconductor

- Semiconductores
  - Valores intermedios de  $\rho$
  - La resistividad disminuye rápidamente al elevar la T
  - Propiedades eléctricas cambian agregando pequeñas cantidades de otros elementos (*dopaje*)
- Superconductores
  - Para muchos metales, es posible llegar a  $\rho=0$ 
    - Debajo de cierta temperatura  $T_c$ , llamada crítica
    - Ejm.: para aluminio, las  $T_c$  están comprendidas entre 1.2 K y 9.2 K
  - La conductividad no se puede definir (recordar que  $1/\sigma = \rho$ )
  - Se han observado corrientes estacionarias
    - Durante años, sin pérdidas aparentes
    - Sin aparición de campo



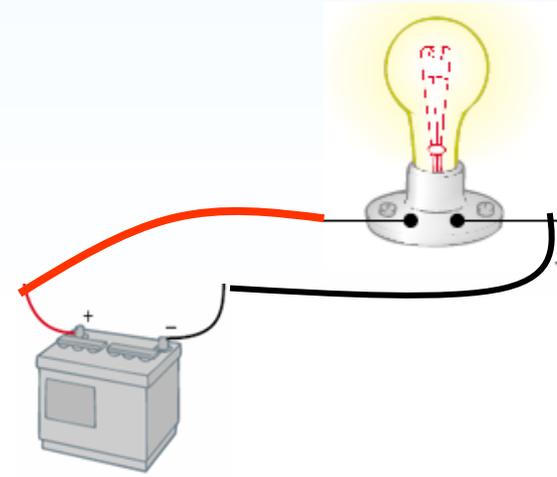
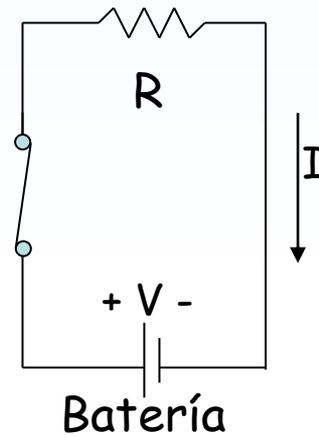
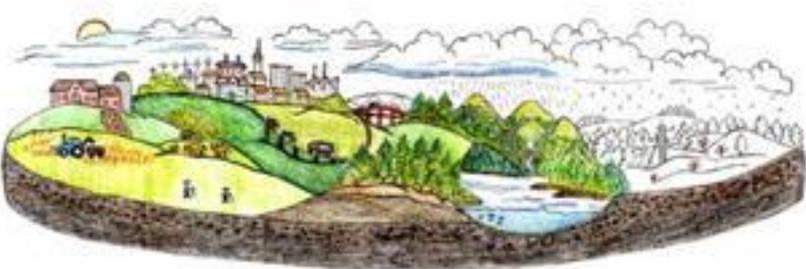
# Programa

- **XII. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.(2h)**
- Corriente. Ley de Ohm. Resistencia. Conductores, aislantes y semiconductores. Superconductividad. **Energía de los circuitos eléctricos. Fuerza electromotriz. Asociaciones de resistencias.** Redes eléctricas: reglas de Kirchhoff. Circuito RC. Instrumentos para mediciones eléctricas.



# Esquema de un Circuito Eléctrico que aporta potencia

- Una batería mantiene una corriente en un tostador
  - Conversión entre formas de energía
  - QUÍMICA (batería) → CINÉTICA (electrones que fluyen)
    - "Colisiones" entre los electrones y las partículas nucleares
    - Se convierte en ENERGÍA INTERNA del tostador
    - Luego: puede convertirse en ENERGÍA RADIATIVA (brilla)
- Circuito típico eléctrico; transferencia de energía
  - Desde la fuente de energía (batería)
  - Al conductor que se calienta (u otro elemento alimentado; ejm 40W)
- Esquemáticamente



# Potencia Eléctrica en un Circuito

- Nos acordamos de la definición (Lección 11; Diap. 31)

- La diferencia de potencial eléctrica es  $\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0}$
- La energía potencial
- Normalizada por unidad de carga

- El cambio de energía potencial del sistema con tiempo es

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d(QV)}{dt} = \frac{dQ}{dt} V = IV$$

cte

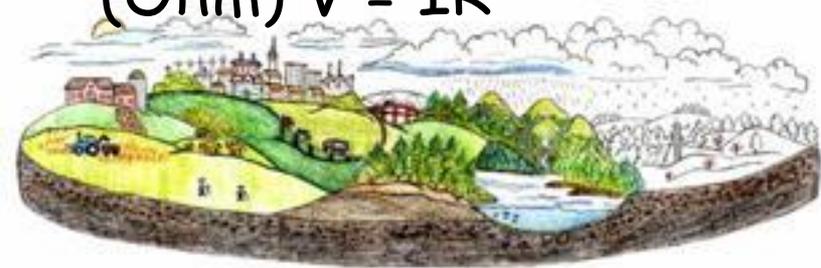
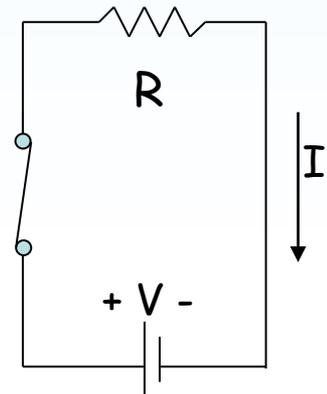
- Potencia "perdida" en una resistencia  **$P=IV$**

- (Ohm)  $V = IR$

**$P=IV$**

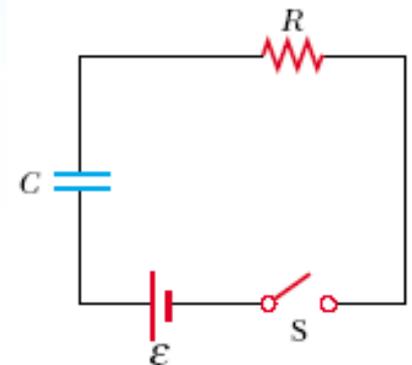
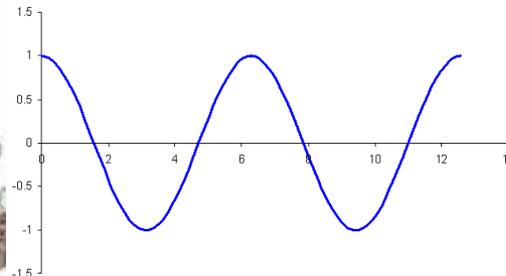
$P=I^2R$

$P=\frac{V^2}{R}$



# Circuitos de Corriente Continua

- Circuitos: combinaciones de elementos
  - Pilas, resistencias, y condensadores
  - Alambres con resistencia despreciable
- Dos tipos de corriente, según alimentación
  - **Corriente Continua (CC)**: alimentación constante
    - Ejm: la batería de un coche da 12V (cuando conectada)
  - **Corriente Alterna (CA)**: forma sinusoidal
    - Los 220V (50Hz) de un enchufe de la pared



# Fuerza Electromotriz

- Para tener una corriente estacionaria ("Corriente Continua")
- Hace falta un suministro de energía eléctrica
  - "Generador de fuerza electromotriz" (FEM): símbolo  $\mathcal{E}$
  - Terminología inapropiada : en realidad no es fuerza, DEFINICIÓN:
  - Diferencia de potencial (V) *máxima* que una batería ofrece entre sus bornes

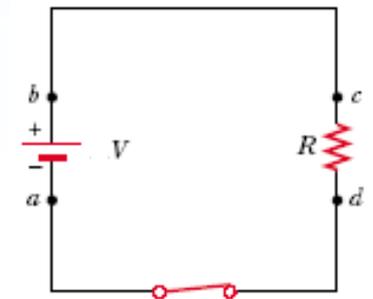
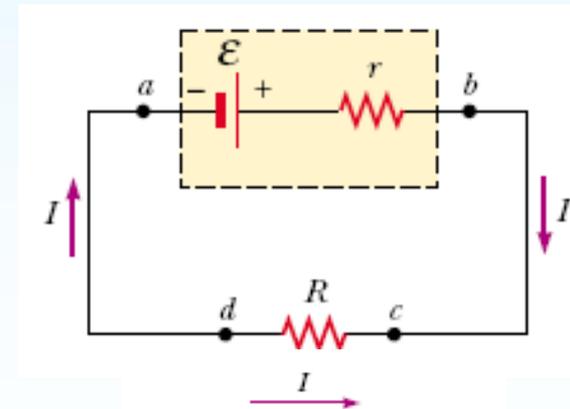
• Batería ideal: da el voltaje máximo:  $V = \mathcal{E}$

• Batería real: resistencia interna ( $r$ ):

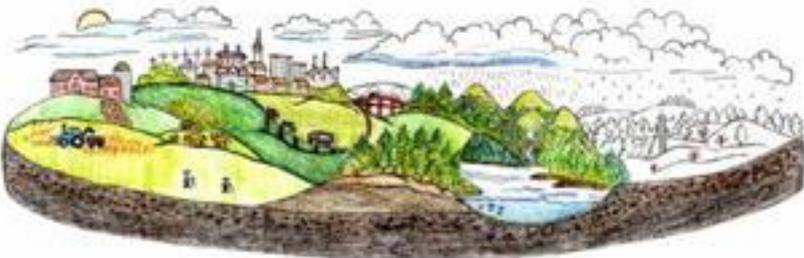
$$V_{ba} = \mathcal{E} - I \cdot r$$

$$V_{ba} = \mathcal{E} \text{ solo en el caso que } I = 0$$

• Importancia : Potencia entregada:  $P = IV$



Modelo simple para análisis de circuitos



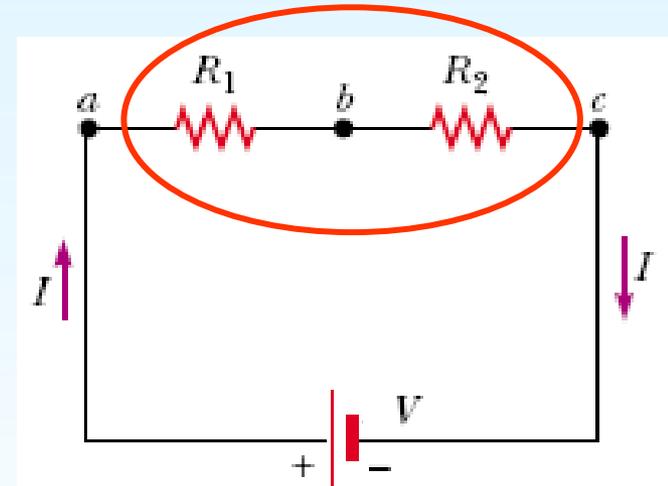
# Asociación de resistencias

## 1. Resistencias conectadas en serie

$$I = I_1 = I_2$$

$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

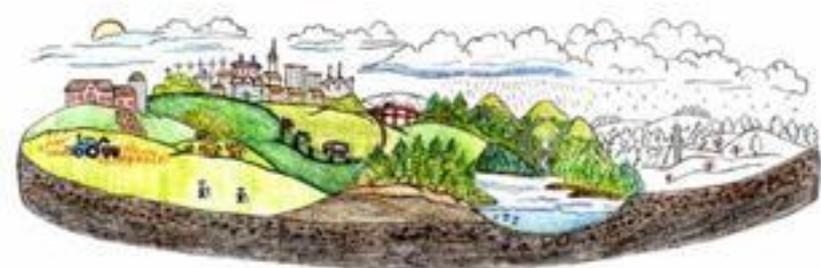
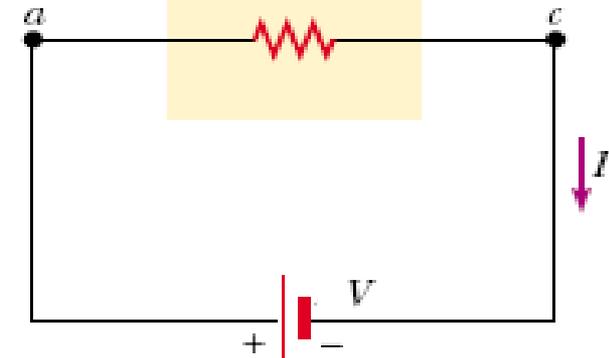
$$V = IR_{eq} \quad R_{eq} = R_1 + R_2$$



Para una asociación de  $n$  resistencias conectadas en serie,  $R_1, R_2, \dots, R_n$

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$



# Asociación de resistencias

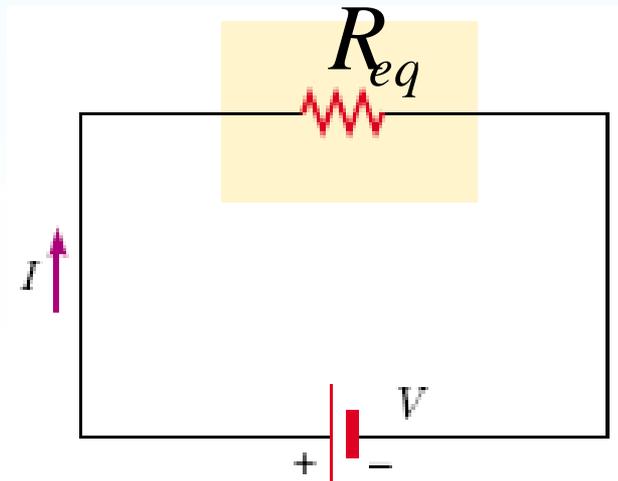
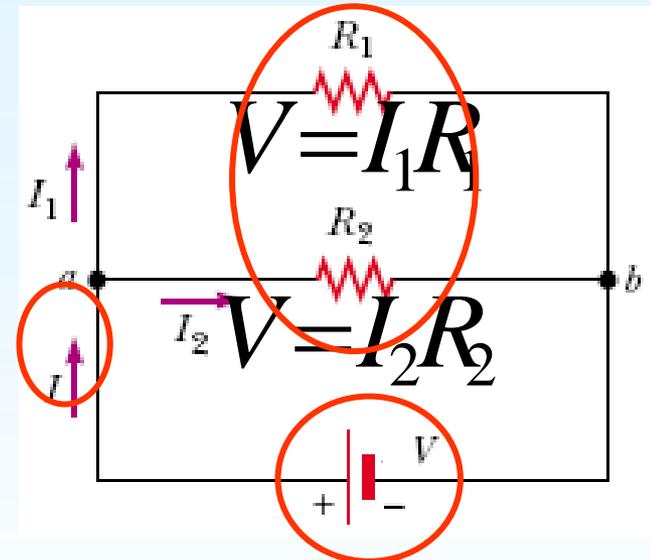
## 1. Resistencias conectadas en paralelo

$$V = V_1 = V_2$$

La carga se conserva (punto a)

$$I = I_1 + I_2$$
$$\frac{V}{R_{eq}} = I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



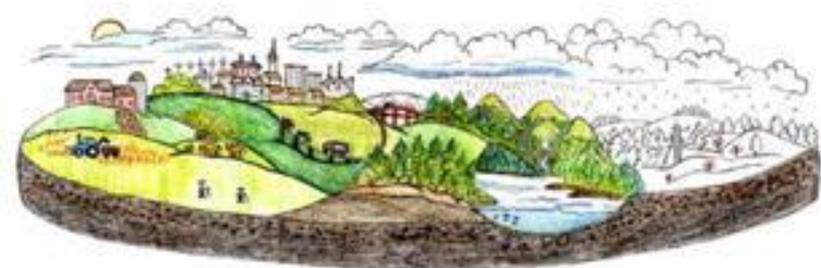
Para una asociación de  $n$  resistencias conectadas en paralelo,  $R_1, R_2, \dots, R_n$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$



# Programa

- **XII. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.(2h)**
- Corriente. Ley de Ohm. Resistencia. Conductores, aislantes y semiconductores. Superconductividad. Energía de los circuitos eléctricos. Fuerza electromotriz. Asociaciones de resistencias. **Redes eléctricas: reglas de Kirchhoff. Circuito RC. Instrumentos para mediciones eléctricas.**

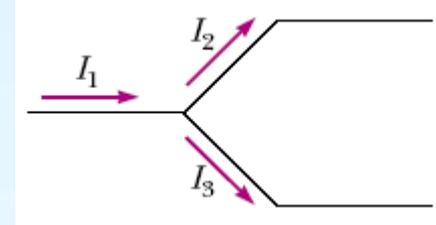


# Leyes de Kirchhoff (dos) para resolver redes eléctricas

Signos arbitrarios  
Se resuelven  
matemáticamente

## 1. Nudos/Corrientes

- (Conservación de la carga)
- En un punto o ramificación de un circuito donde puede dividirse la corriente, la suma de las corrientes que **entran** en el nudo debe ser igual a la suma de las corrientes que **salen** del nudo



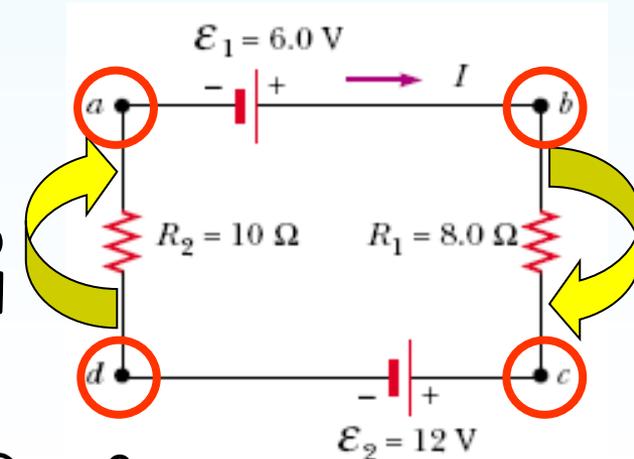
$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_1 < I_2 ??$$

$$\Rightarrow I_3 < 0$$

## 2. Mallas/Tensiones

- (Conservación de la energía)
- Las sumas de las caídas de potencial a lo largo de cualquier lazo o malla del circuito debe ser igual a los aumentos de potencial

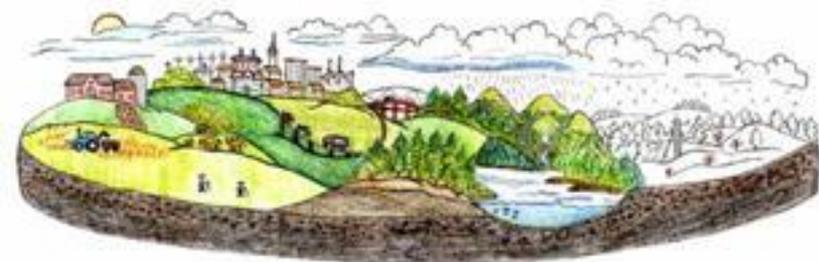


$$+ \varepsilon_1 - I \cdot R_1 - \varepsilon_2 - I \cdot R_2 = 0$$

$$\varepsilon_1 < \varepsilon_2 ??$$

$$I < 0$$

Gustav Kirchhoff (1824 - 1887)



# Leyes de Kirchhoff :

## Ejemplo de cómo resolver un circuito

Signos arbitrarios

1. Confirmar: no podemos simplificar las asociaciones de R's
2. Asignar: unas corrientes arbitrarias
3. Aplicar la ley de corrientes al nudo "c"  
Una ecuación con tres incógnitas:

Necesitamos **dos** ecuaciones más

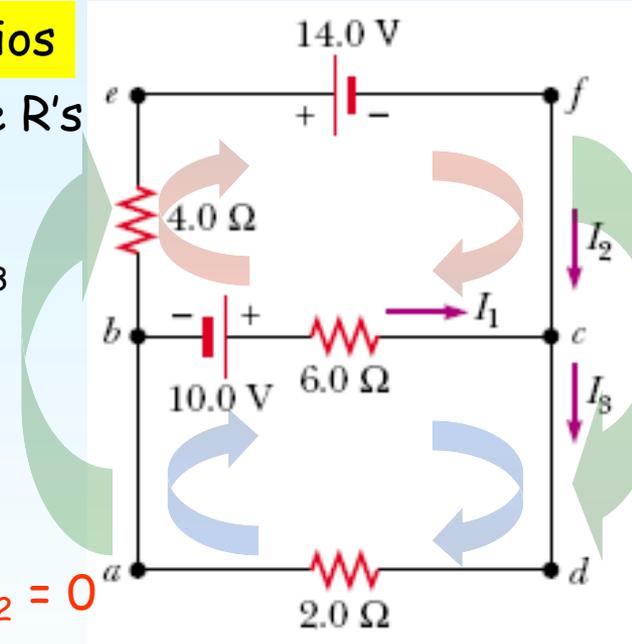
Hay tres mallas en el circuito (sentido de reloj):

$$\text{abcd} \quad 10.0\text{V} - (6.0\Omega) I_1 - (2.0\Omega) I_3 = 0$$

$$\text{efcb} \quad -14.0\text{V} + (6.0\Omega) I_1 - 10.0\text{V} - (4.0\Omega) I_2 = 0$$

abefcda

4. Aplicar la ley de mallas
5. Ecuaciones (1,2,3) e incógnitos ( $I_1, I_2, I_3$ )



$$I_1 + I_2 = I_3$$

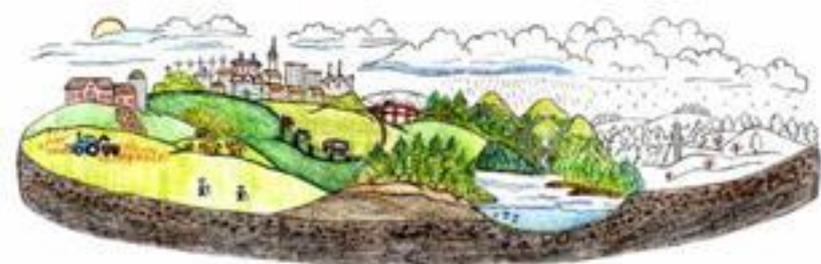
6. Substituir (1) en (2) y obtenemos  

$$10.0\text{V} - (6.0\Omega) I_1 - (2.0\Omega) (I_1 + I_2) = 0$$

$$10.0\text{V} = (8.0\Omega) I_1 + (2.0\Omega) I_2 \quad (4)$$
7. Tomar la mitad de (3) y agrupar:  

$$-12.0\text{V} = - (3.0\Omega) I_1 + (2.0\Omega) I_2 \quad (5)$$
8. Restar (5) de (4)  $\implies I_1 = 2\text{A}$   

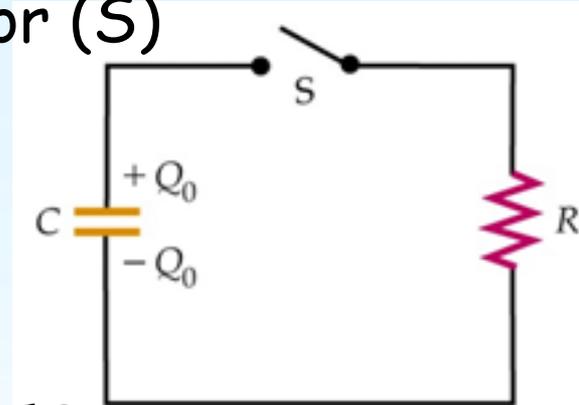
$$22.0\text{V} = 11 I_1$$



# Circuitos RC

## Descarga de un condensador

- Consideramos el circuito con el interruptor (S) abierto *inicialmente*



- Hay una carga  $Q_0$  en C
- La tensión en C es  $V_0 = \frac{Q_0}{C}$
- Cerramos S en  $t=0$ , inicialmente  $I_0 = \frac{V_0}{R}$

- Pero la corriente descarga el condensador
- Corriente = velocidad de su descarga  $I = -\frac{dQ}{dt}$

- Aplicamos Kirchhoff (mallas), en el instante t  $IR = \frac{Q}{C}$

$$-R \frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{C} \quad \frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{RC} Q \quad \frac{dQ}{Q} = -\frac{1}{RC} dt \quad \int_{Q_0}^Q \frac{dQ}{Q} = \int_0^t -\frac{1}{RC} dt$$

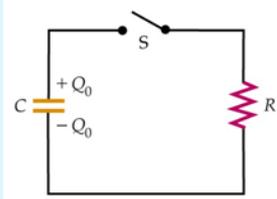


$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -\frac{t}{RC}$$

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

# Circuitos RC



## Corriente no Estacionaria

- $\tau = RC$  caracteriza el tiempo de respuesta del circuito para cualquier cambio

Se dice que el circuito tiene "memoria"

C - capacidad de acordarse de situaciones anteriores de equilibrio

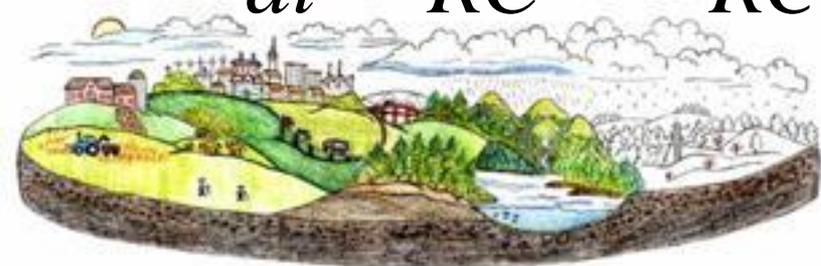
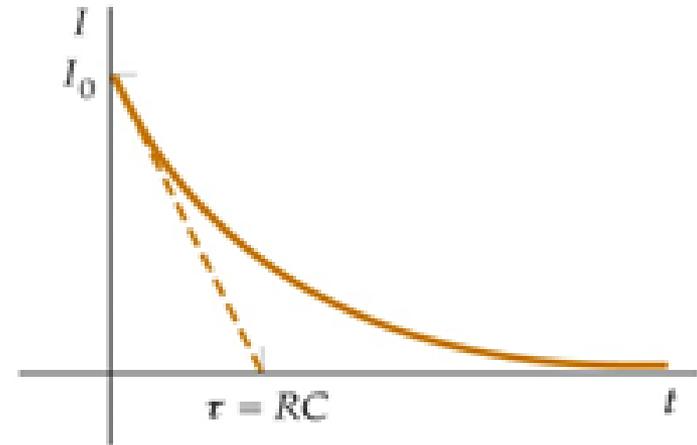
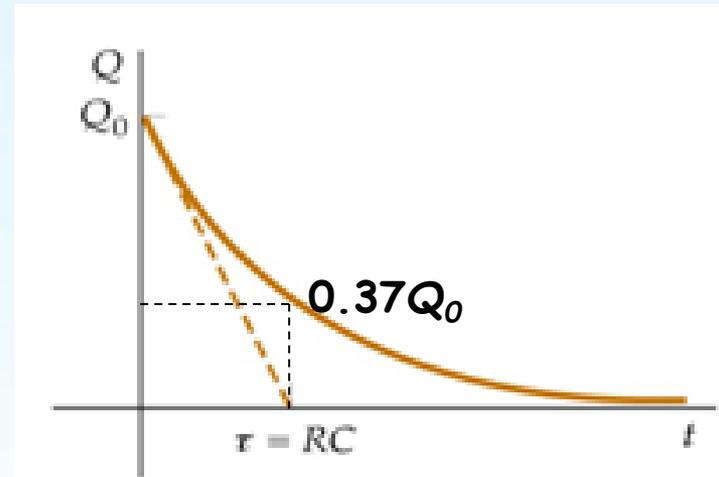
R - resistencia al cambio hacia nuevo equilibrio

- Ejm: la descarga del condensador

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- La corriente en el circuito

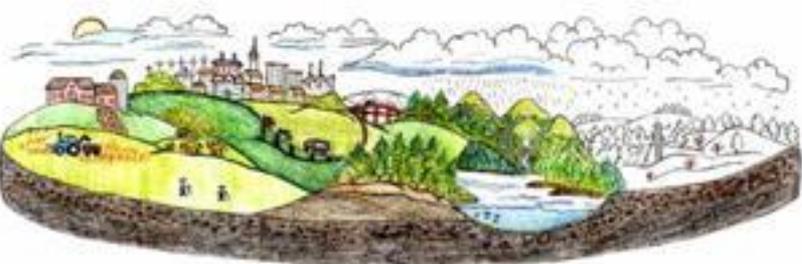
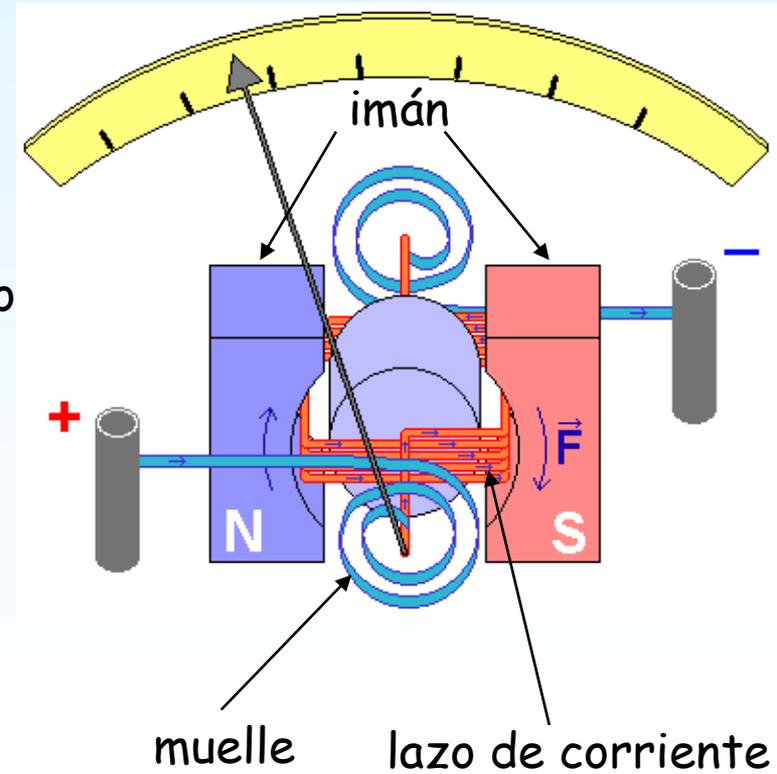
$$I = -\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{-Q}{RC}$$



# Instrumentos para mediciones eléctricas

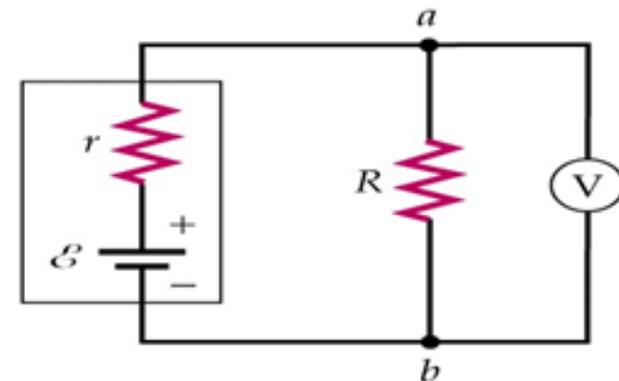
- El galvanómetro
  - El componente principal en cualquier metro analógico
    - Amperímetros
    - Voltímetros
    - Óhmetros
  - Funcionamiento (Lección 13)
    - Corriente en el lazo  $\rightarrow$  campo magnético
    - Imán permanente  $\rightarrow$  fuerza de torsión
    - La fuerza se mide con un muelle espiral

- Estos se diferencian sobre todo
  - En sus propiedades eléctricas
  - En su manera de conectar



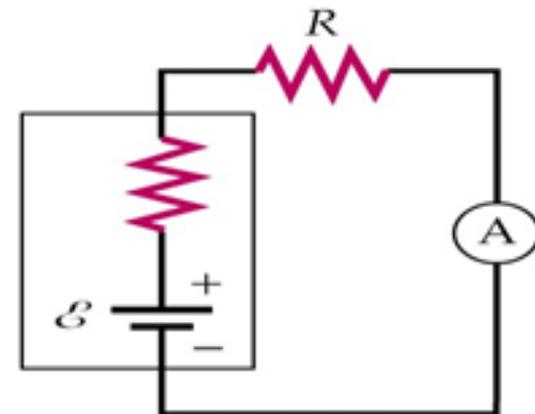
# Mediciones de diferencia de potencial: el voltímetro

- Diferencia de potencial (DDP) de una resistencia
- Se coloca un **voltímetro en paralelo**
  - Se puede conectar sin desconectar el circuito
  - Se puede aplicar a cualquier punto del circuito (no solo R)
- Ojo:
  - Hace falta una gran resistencia en el voltímetro
    - Para evitar que pase corriente por ello (modificar circuito)
    - El voltímetro ideal tiene resistencia infinita
  - Cuidado con la polaridad del instrumento ( $+V \neq -V$ )



# Mediciones de corriente: el amperímetro

- Corriente en un punto/segmento de un circuito
- Se coloca un **amperímetro en serie**
  - Es necesario modificar el circuito
  - Hay que abrir/desconectar para introducir el instrumento
- Ojo:
  - Hace falta una pequeña resistencia en el amperímetro
    - Para evitar que modifique el circuito
    - El amperímetro ideal tiene resistencia nula
  - Cuidado con el rango del instrumento (fusibles)



# Mediciones de resistencia: el Óhmetro

- Un óhmetro simple

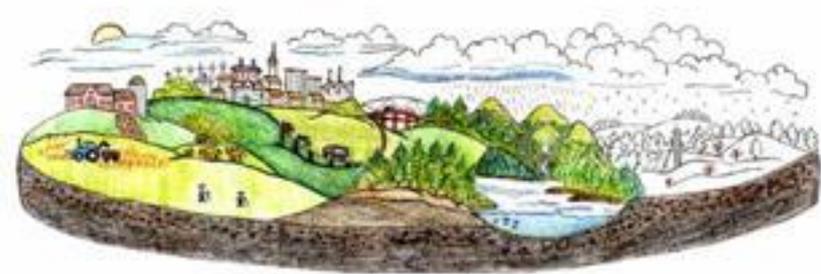
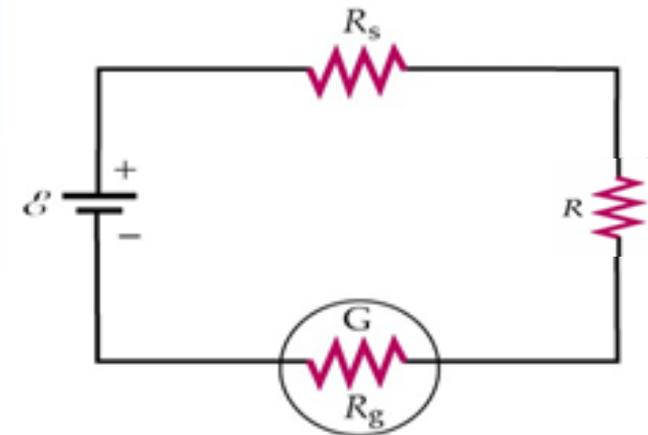
- Una batería conectada en serie con un galvanómetro, y
- Una resistencia en un punto/segmento de un circuito

- La resistencia  $R_s$  se elige para que:

- Con un cortocircuito entre a y b, 
$$I_C = \frac{\mathcal{E}}{R_s + R_g}$$
- Con la resistencia problema, 
$$I_R = \frac{\mathcal{E}}{R_s + R_g + R}$$

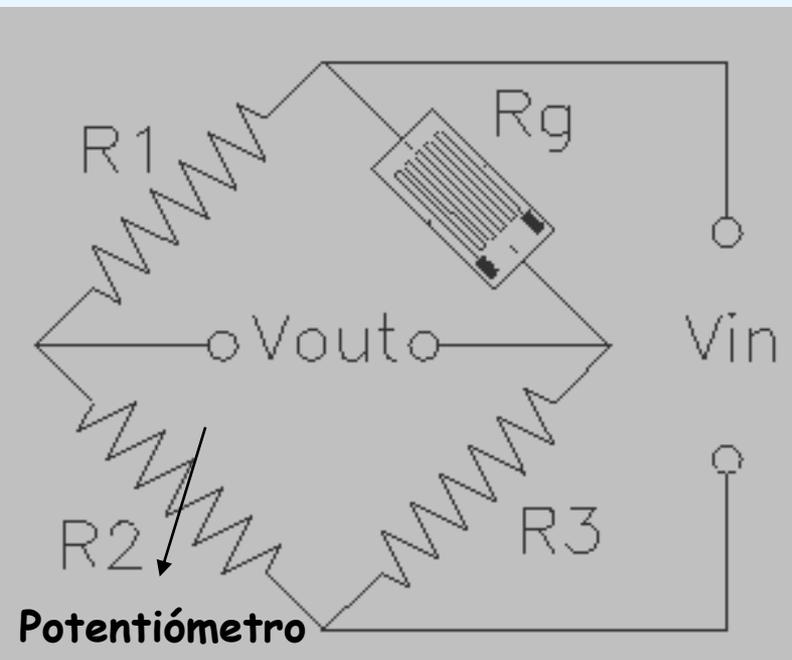
Galvanómetro  
fondo de escala

$$\frac{I_C}{I_R} = \frac{R_s + R_g + R}{R_s + R_g}$$



# El Puente de Wheatstone

Para determinar una resistencia ( $R_g$ ) desconocida



$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_g}{R_g + R_3} \right)$$

El circuito está equilibrado si  $V_{out} = 0$   
(esto se hace variando  $R_2$ )

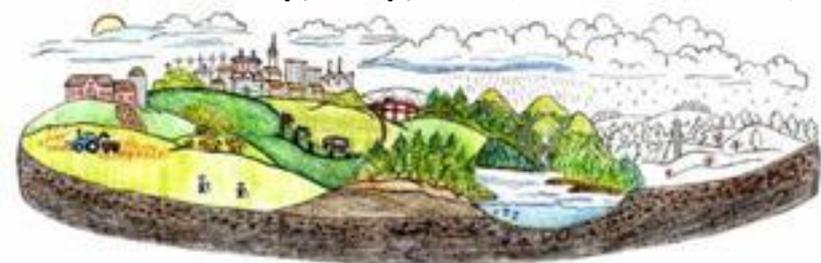
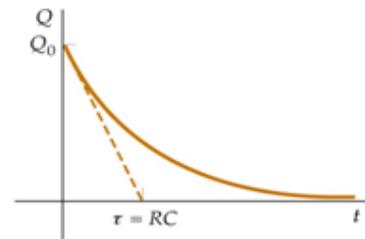
Entonces

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_g}{R_3}$$



# Conceptos/Ecuaciones a Dominar

- Corriente  $I = \frac{dQ}{dt}$  y densidad de corriente  $J = nqvd$
- Ley de Ohm  $J = \sigma E$   $V = IR$
- Conductividad, Resistividad  $\sigma = \frac{1}{\rho}$
- Potencia eléctrica  $P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$
- Asociación de resistencias
  - En serie  $R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$  y en paralelo  $\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$
  - Leyes de Kirchhoff para 1. Nudos y 2. Mallas
- Circuitos RC  $\tau = RC$
- Cómo medir: Corriente, Tensión, Resistencia



**Fin**

