

# MATERIALES SEMICONDCTORES

---

Universidad de Oviedo

# CONTENIDO

1º CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

2º SEMICONDUCTORES N Y P

3º FÍSICA DEL DIODO

4º DISPOSITIVOS ÓPTICOS

---

# CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

Los materiales pueden clasificarse según la **conductividad** o capacidad para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él.

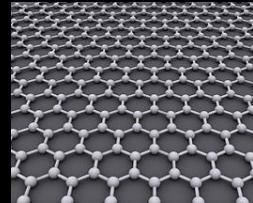
$$\sigma \text{ (Siemens m}^{-1}\text{)} = \frac{1}{\rho}$$

Conductividad es la inversa de la resistividad

## Conductores

Grafeno	$\sigma = 98,7 \times 10^6 \text{ Sm}^{-1}$	El mejor conductor conocido (carbono puro de patrón hexagonal)
Plata	$\sigma = 63,0 \times 10^6 \text{ Sm}^{-1}$	La conductividad eléctrica más alta de cualquier metal
Cobre	$\sigma = 59,6 \times 10^6 \text{ Sm}^{-1}$	El conductor más usado para el transporte de la energía eléctrica

Grafeno



Plata



Cobre



## Semiconductores

Germanio	$\sigma = 2,20 \times 10^{-2} \text{ Sm}^{-1}$	
Silicio	$\sigma = 1,60 \times 10^{-5} \text{ Sm}^{-1}$	elemento más abundante sobre la corteza terrestre después del oxígeno

Silicio



Germanio



## Aislantes

Mica	$\sigma = 10^{-11} \text{ a } 10^{-15} \text{ Sm}^{-1}$
Vidrio	$\sigma = 10^{-10} \text{ a } 10^{-14} \text{ Sm}^{-1}$

Vidrio



Mica



# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Según la **conductividad** o capacidad para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él.

$$\sigma \text{ (Siemens m}^{-1}\text{)} = \frac{1}{\rho}$$

Conductividad es  
la inversa de la  
resistividad

## Conductores

Grafeno  
Plata  
Cobre

$\sigma =$   
 $\sigma =$   
 $\sigma =$

## Semiconductores

Germanio  
Silicio

## Aislantes

Mica       $\sigma = 10^{-11} \text{ a } 10^{-15} \text{ Sm}^{-1}$   
Vidrio     $\sigma = 10^{-10} \text{ a } 10^{-14} \text{ Sm}^{-1}$

Estamos interesados en los  
**semiconductores**

La conductividad depende de la estructura atómica



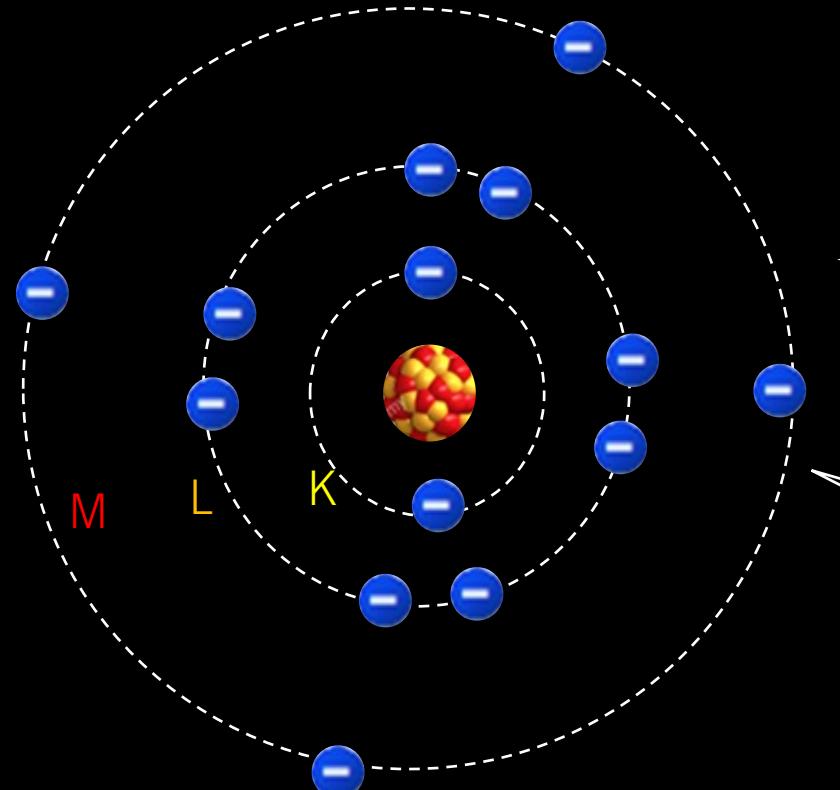
# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

El elemento semiconductor más usado es el **Silicio**, seguido del Germanio, aunque también se utilizan las combinaciones de elementos de los grupos 12 y 16 y también 13 y 15: **Ga As (arseniuro de galio)**, InP (fosfuro de indio), CdTe (telururo de cadmio), CdSe (seleniuro de cadmio) y CdS (sulfuro de cadmio), GaSb (antimoníuro de galio), ... (de tres elementos) InGaAs, ... (de cuatro de elementos) AlInGaP, InAsSbP, ...

# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

El núcleo contiene 14 protones

El tercer nivel (M) está incompleto, faltan 4 electrones



Silicio

Los electrones más externos son los electrones de valencia

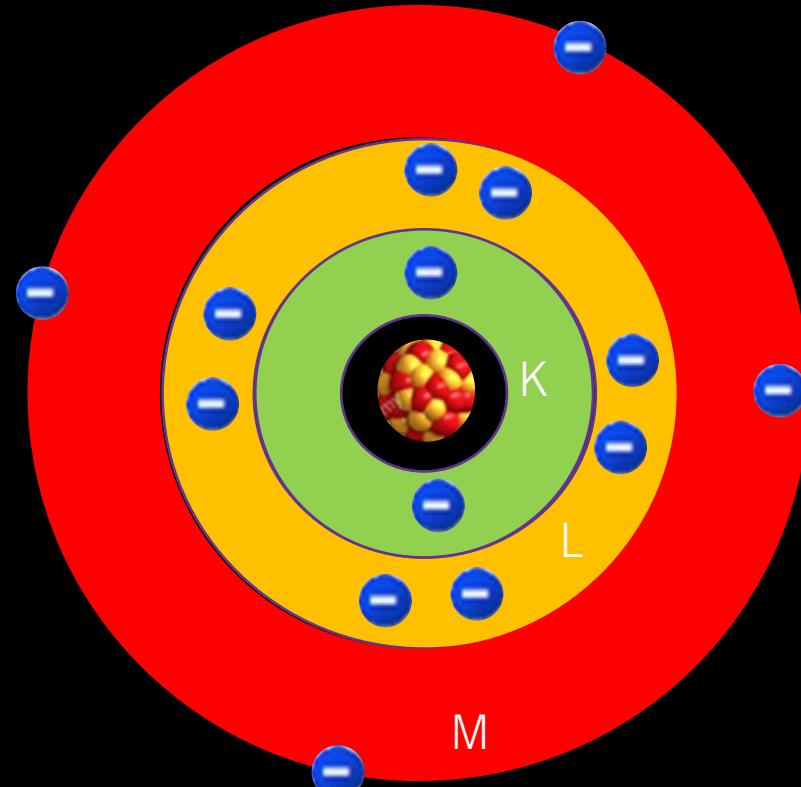
Los electrones se disponen por capas (K,L,M) con unos niveles energéticos determinados

Los electrones más externos tienen mayor energía

# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

El núcleo contiene 14 protones

El tercer nivel (M) está incompleto, faltan 4 electrones

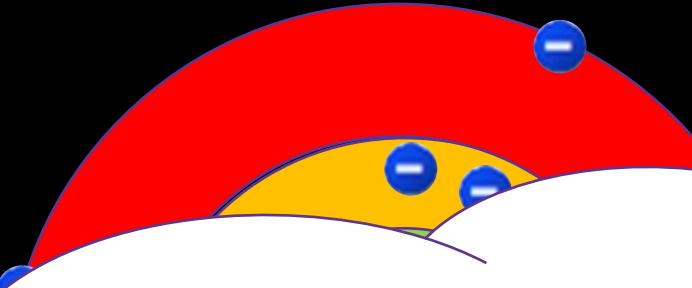


Silicio

Los electrones más externos son los electrones de valencia

Los electrones se disponen por capas (K,L,M) con unos niveles energéticos determinados

Los electrones más externos tienen mayor energía



¿Cómo se explica la conductividad eléctrica?

Silicio

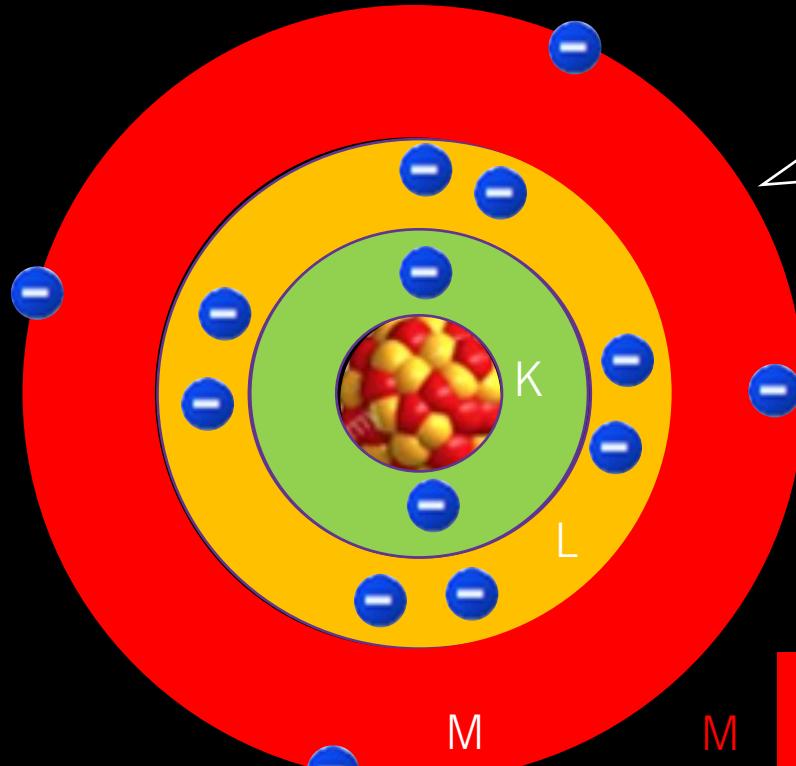
# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES



# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

El tercer nivel está incompleto  
faltan 4 electrones

El núcleo contiene  
14 protones



Capas

M

L

K

4 electrones  
en el tercer nivel

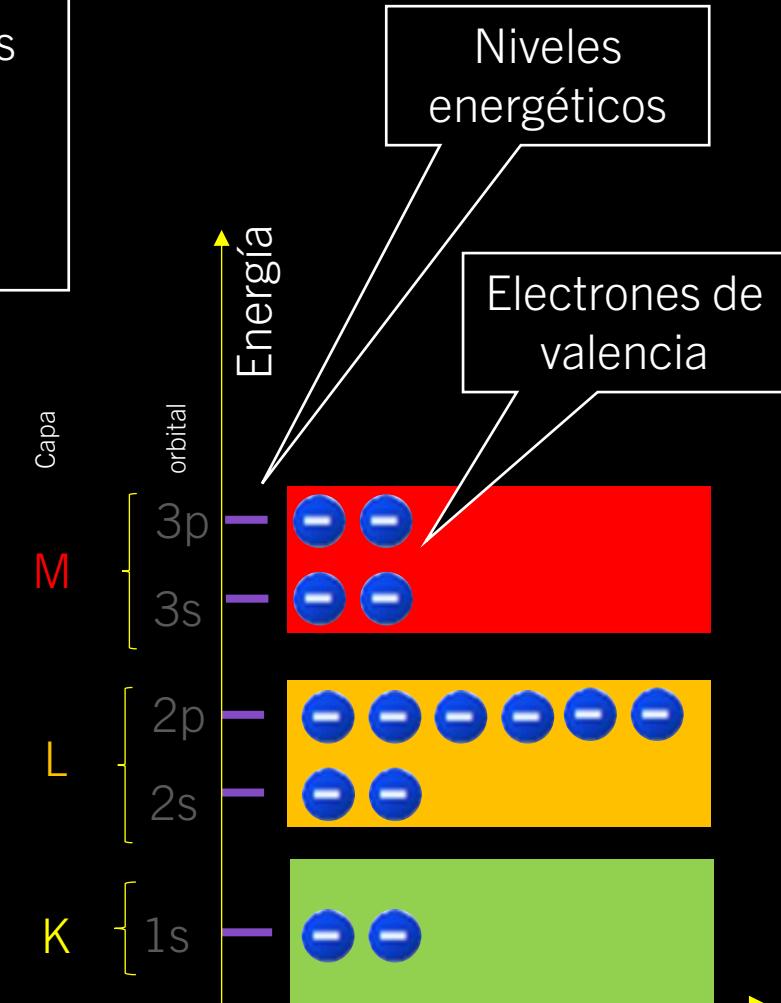
8 electrones  
en el segundo nivel

2 electrones  
en el primer nivel

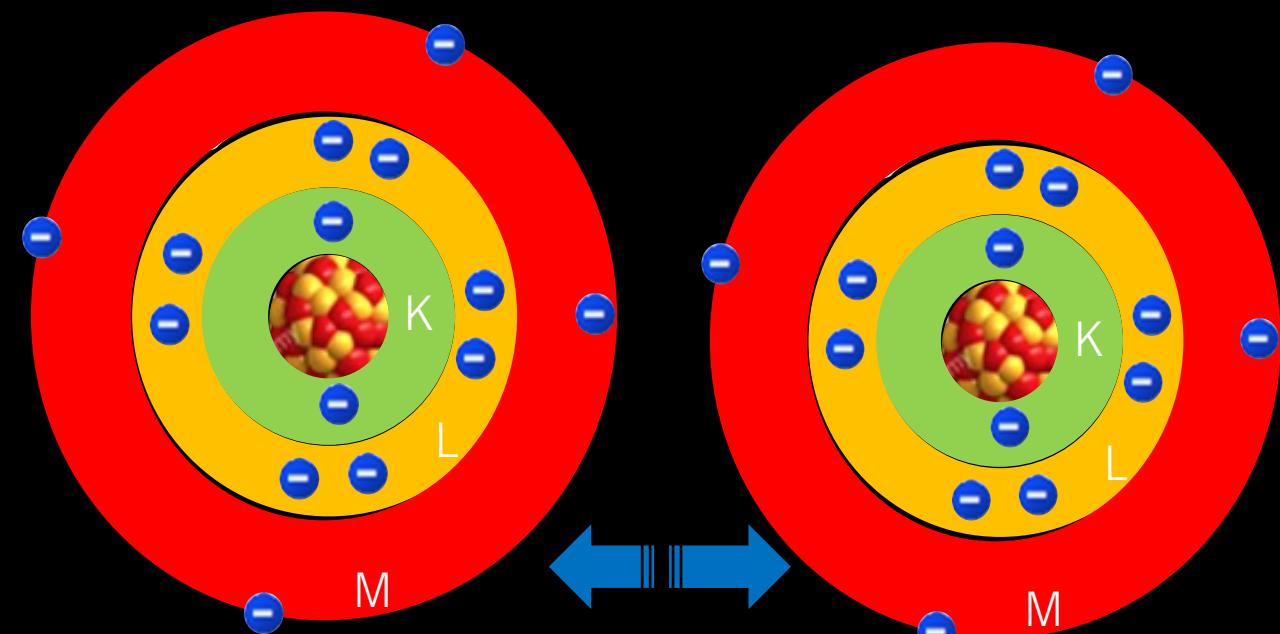
Los electrones se disponen por capas con unos niveles energéticos determinados

Silicio

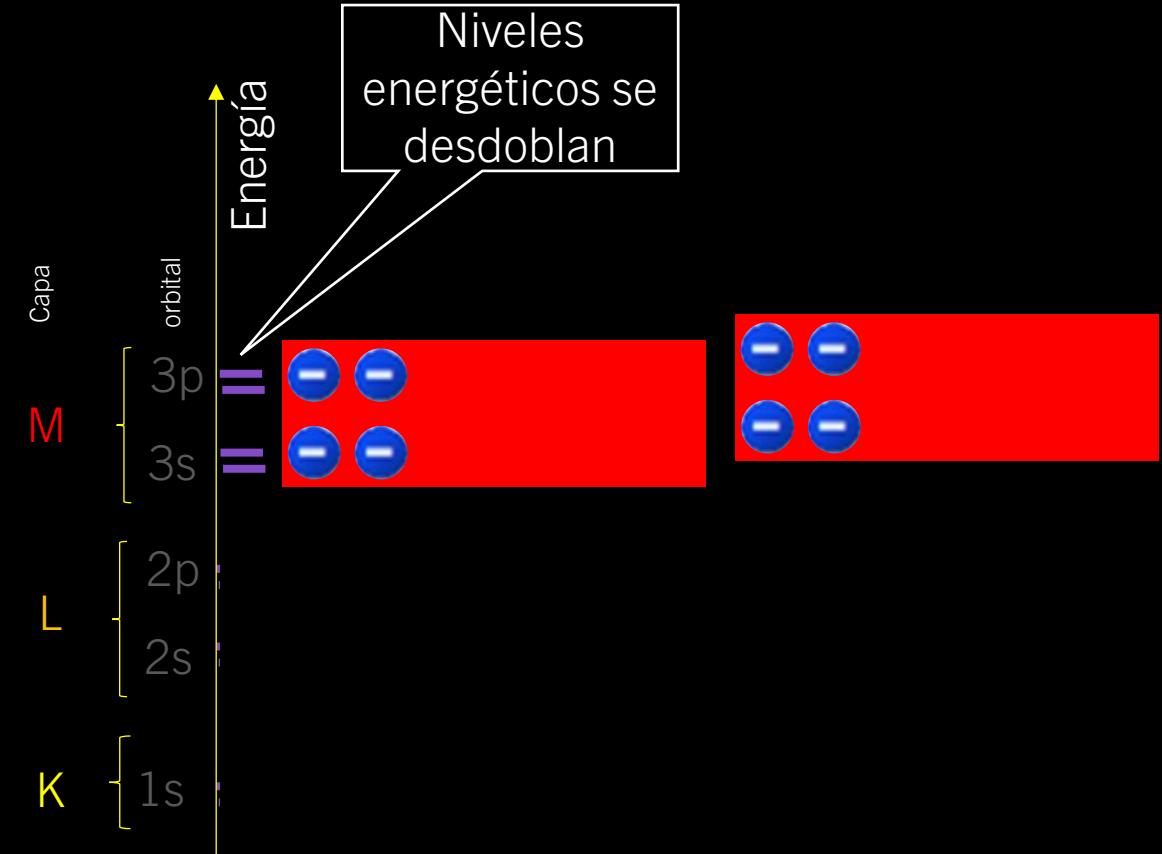
átomo aislado



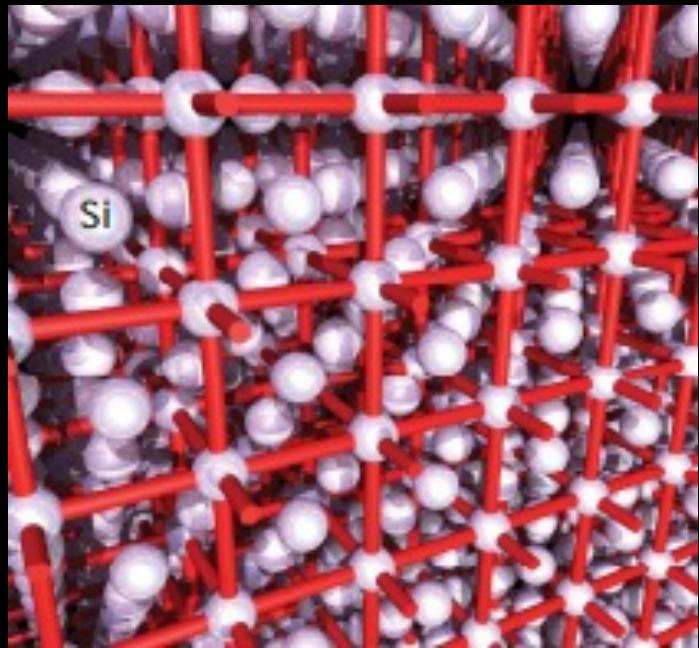
# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES



Al aproximarse los átomos los electrones interactúan entre sí y los niveles energéticos se desdoblzan



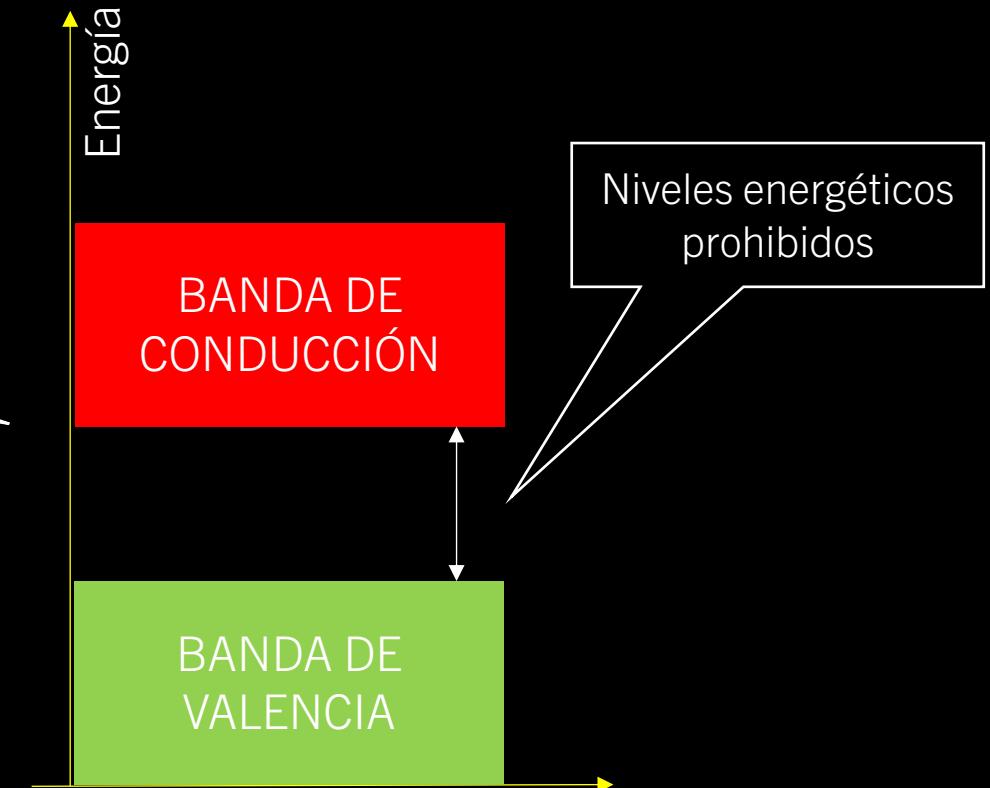
# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES



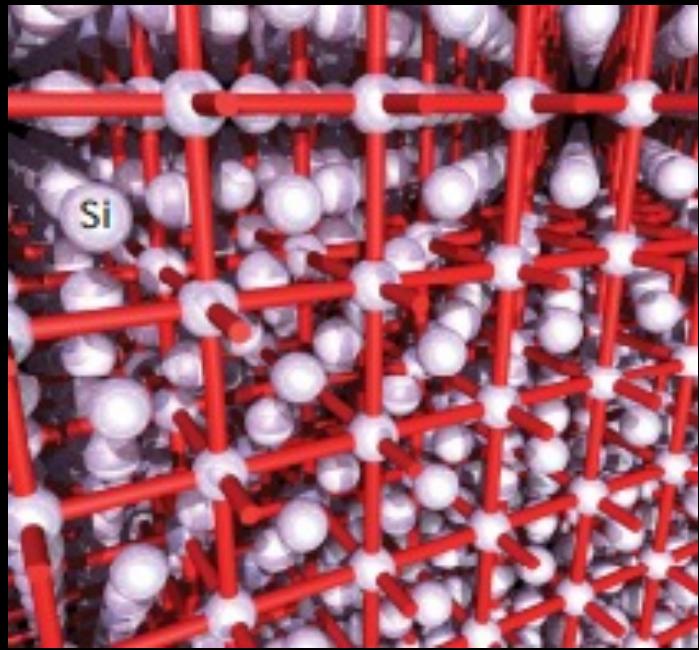
Silicio

A las distancias de la red cristalina con un número muy elevado de átomos se forman **bandas de energía** formadas por niveles energéticos muy próximos

Los electrones solo pueden tener niveles energéticos dentro de estas bandas



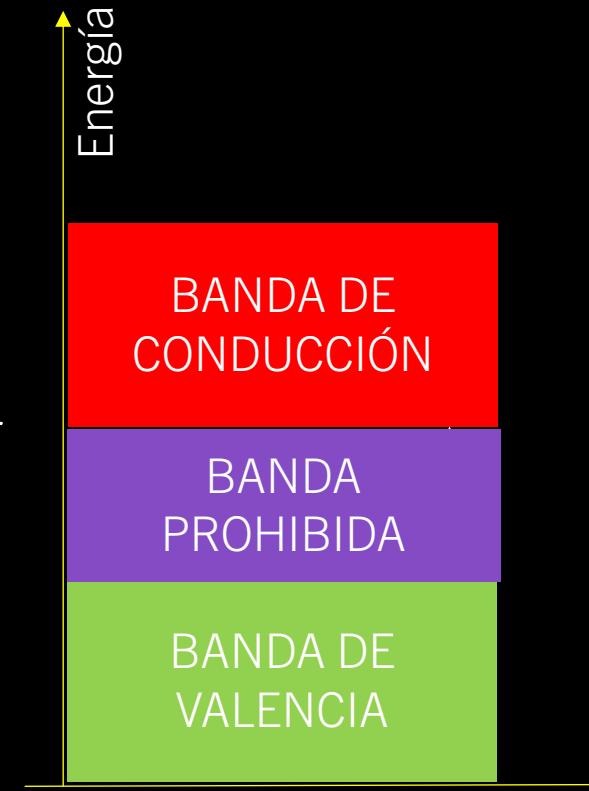
# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES



Silicio

A las distancias de la red cristalina con un número muy elevado de átomos se forman bandas de energía formadas por niveles energéticos muy próximos

Los electrones solo pueden tener niveles energéticos dentro de estas bandas

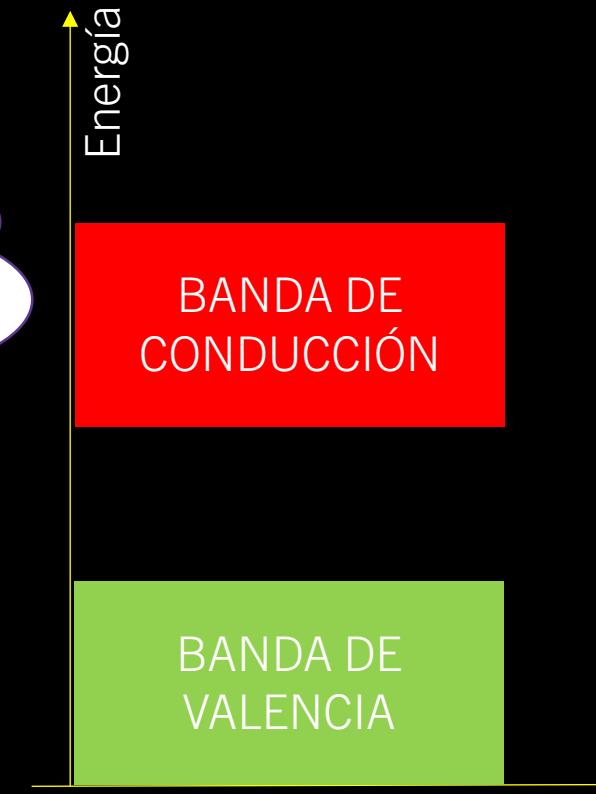


# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES



¿Qué ocurre a una temperatura de 0 K?

Silicio

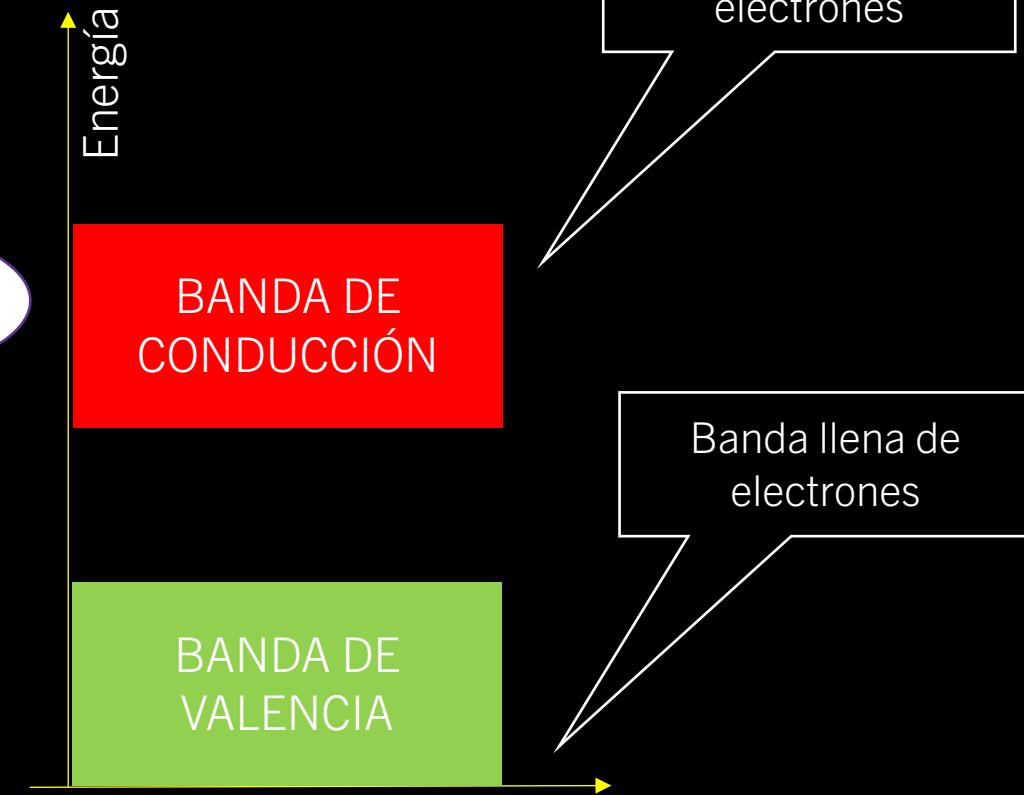


# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES



¿Qué ocurre a una temperatura de 0 K?

Silicio



# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

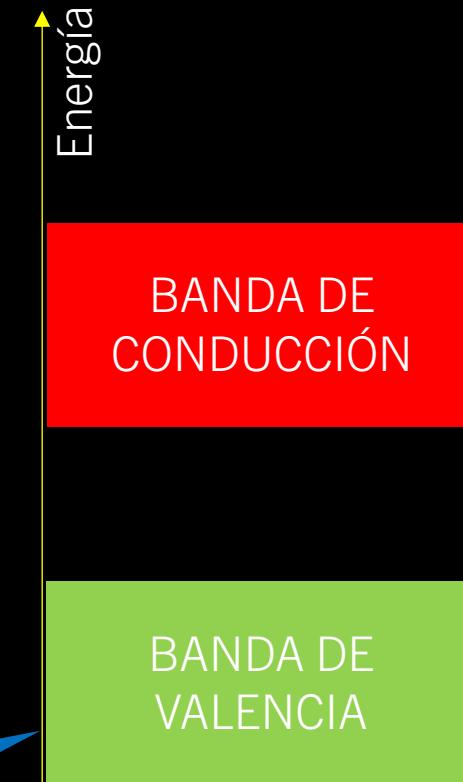


0 K

LOS ELECTRONES  
NO PUEDEN  
MOVERSE

Silicio

No es posible aportar cantidad de movimiento a los electrones de una banda completamente llena



Banda Vacía de electrones

Banda llena de electrones

# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

Para que el material conduzca debe pasar un electrón de la Banda de Valencia a la Banda de Conducción saltando la banda prohibida



El electronvoltio (símbolo eV) es una unidad de energía que representa la variación de energía que experimenta un electrón al moverse a través de una diferencia de potencial de 1 voltio

Carga del electrón

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Julios}$$



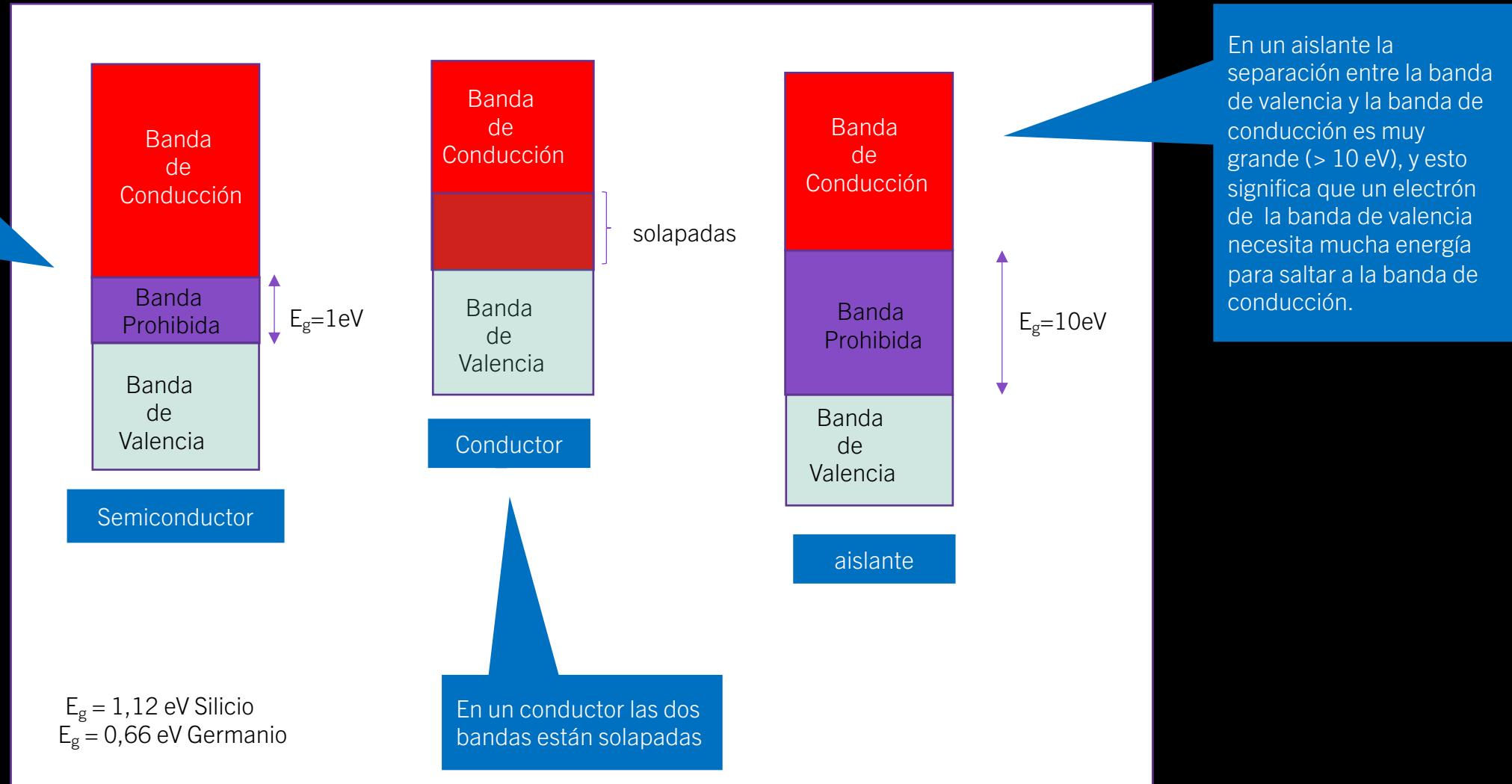
El ancho de la banda prohibida determina el tipo de material:

- conductor
- aislante
- semiconductor

La energía se mide en electrón-voltios (eV)

# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

En un semiconductor la banda prohibida es estrecha, es fácil que un electrón sea liberado y pueda contribuir a la conducción.



## MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

En un semiconductor la banda prohibida es estrecha, o lo que es lo mismo, es fácil que un electrón sea liberado y pueda contribuir a la conducción.

Banda de valencia

Banda de conducción

En un aislante la separación entre la banda de valencia y la banda de conducción es muy grande ( $> 10$  eV), y esto significa que un electrón no tiene la energía suficiente para liberarse de la banda de valencia y convertirse en un electrón libre.

¿Qué ocurre si se incrementa la temperatura en un semiconductor?

El ancho de la banda prohibida determina el tipo de material: conductor, aislante o semiconductor...

$E_g$

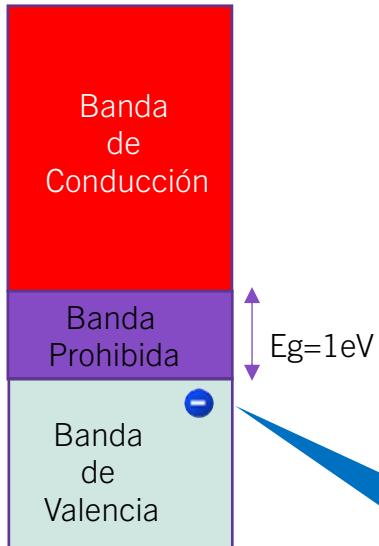
$E_g = 0,15$  eV

300 K

para la conducción

# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

En un semiconductor la banda prohibida es estrecha, es fácil que un electrón sea liberado y pueda contribuir a la conducción.



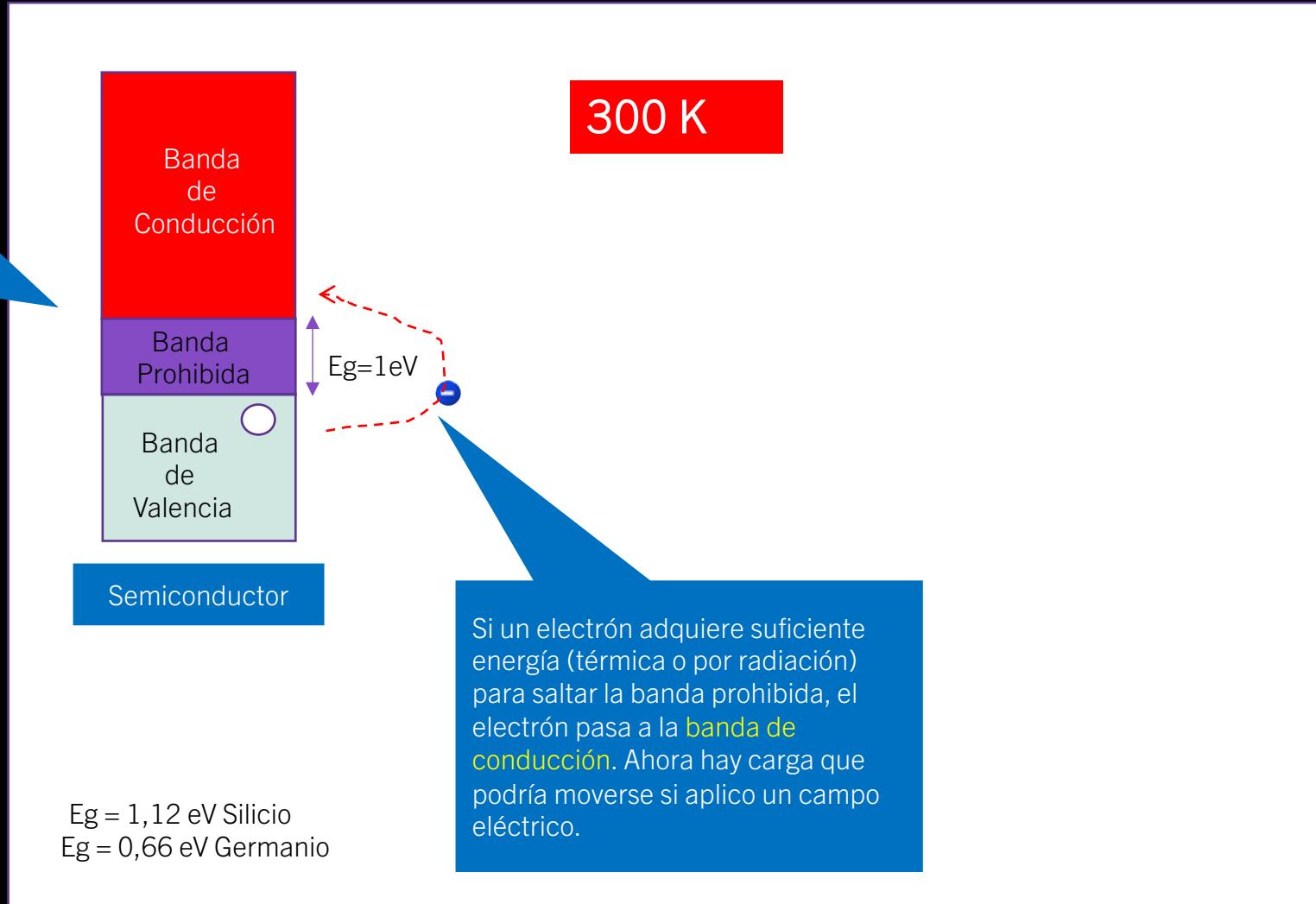
300 K

Semiconductor

$E_g = 1,12\text{ eV Silicio}$   
 $E_g = 0,66\text{ eV Germanio}$

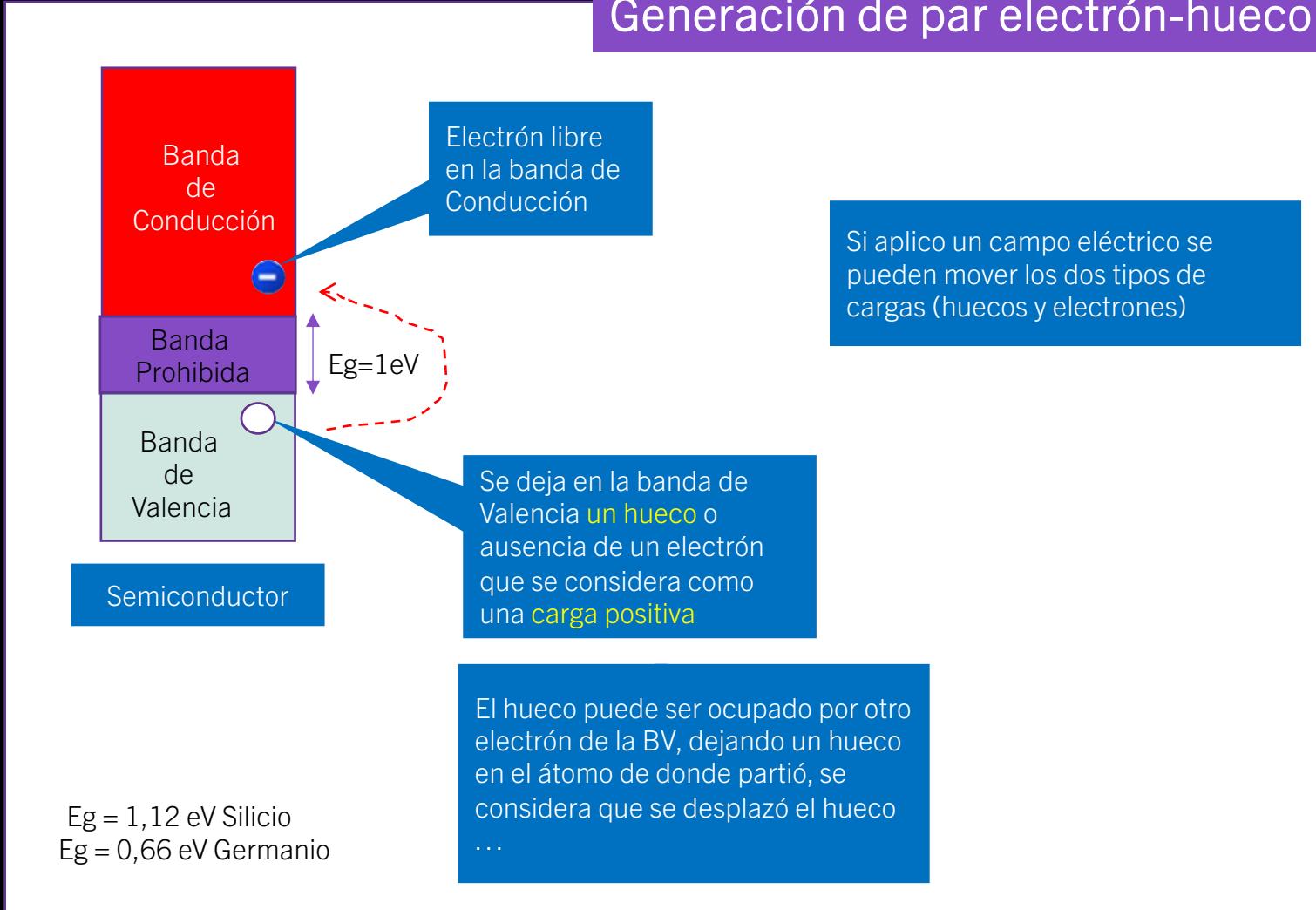
# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

En un semiconductor la banda prohibida es estrecha, es fácil que un electrón sea liberado y pueda contribuir a la conducción.

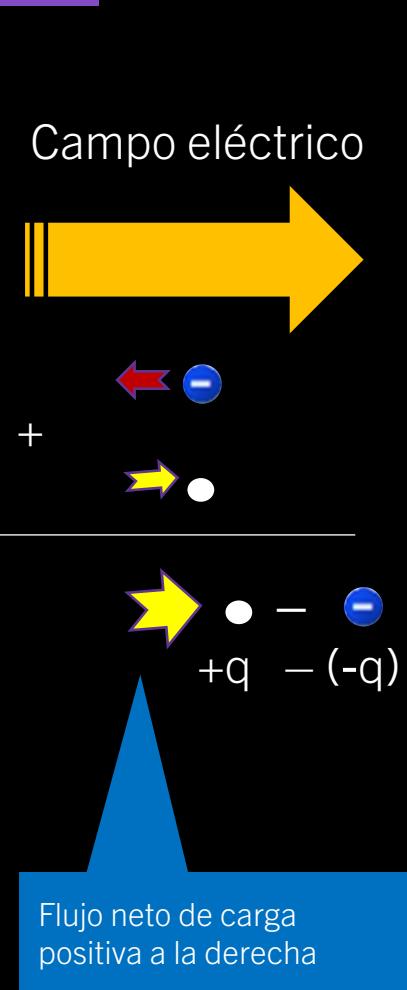


# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

300 K



## Generación de par electrón-hueco



# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

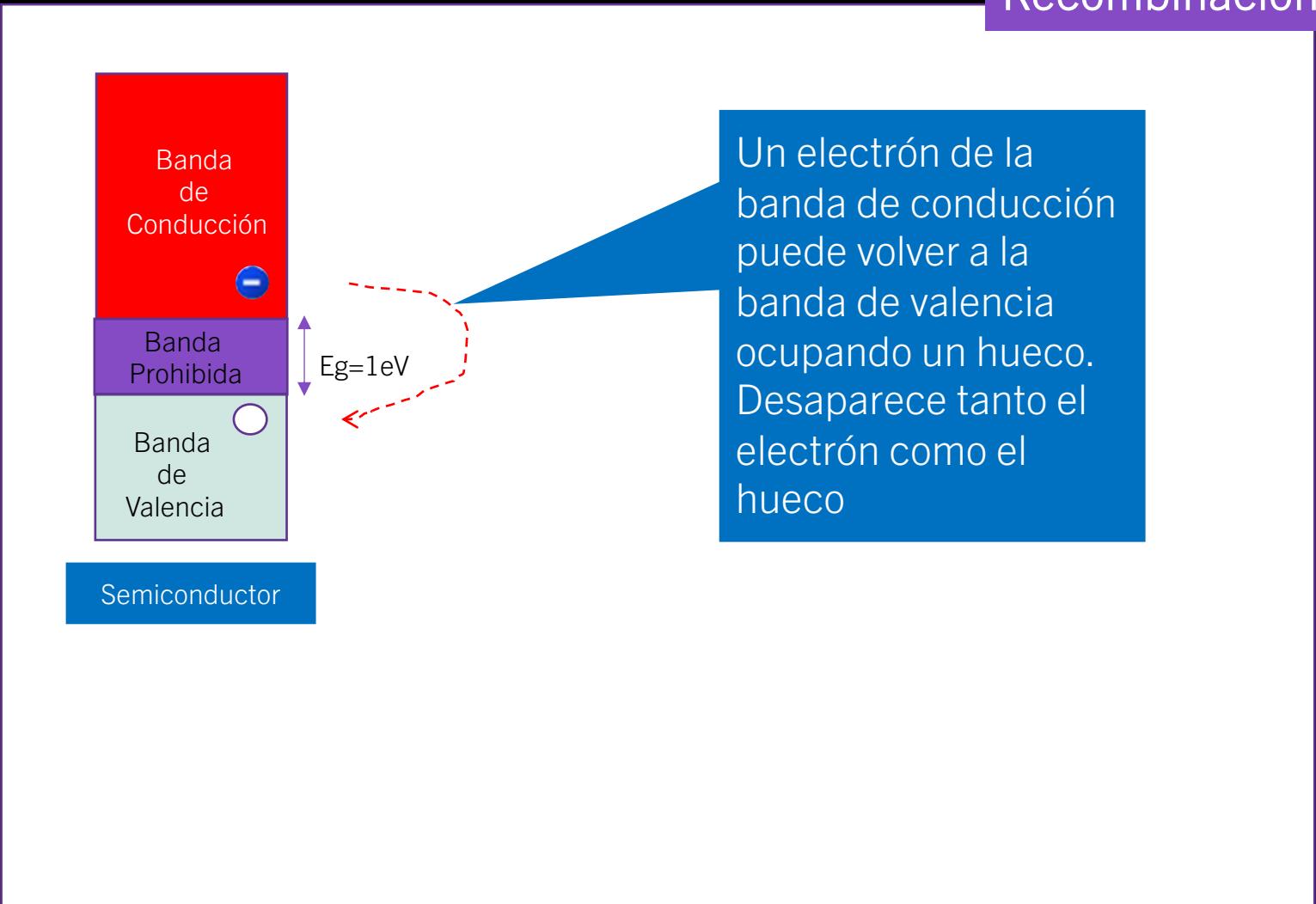
## Generación de par electrón-hueco

300 K



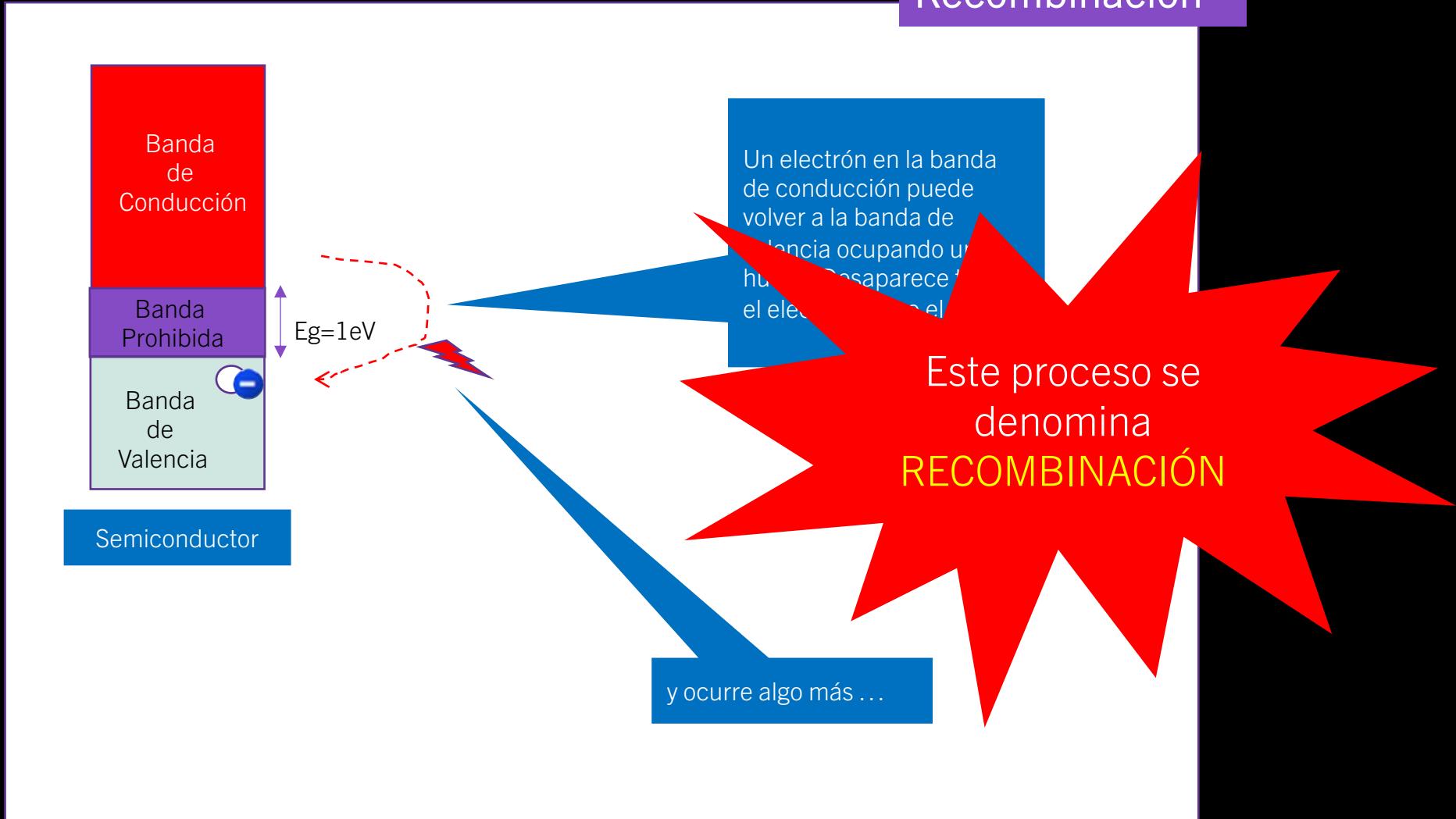
# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

## Recombinación



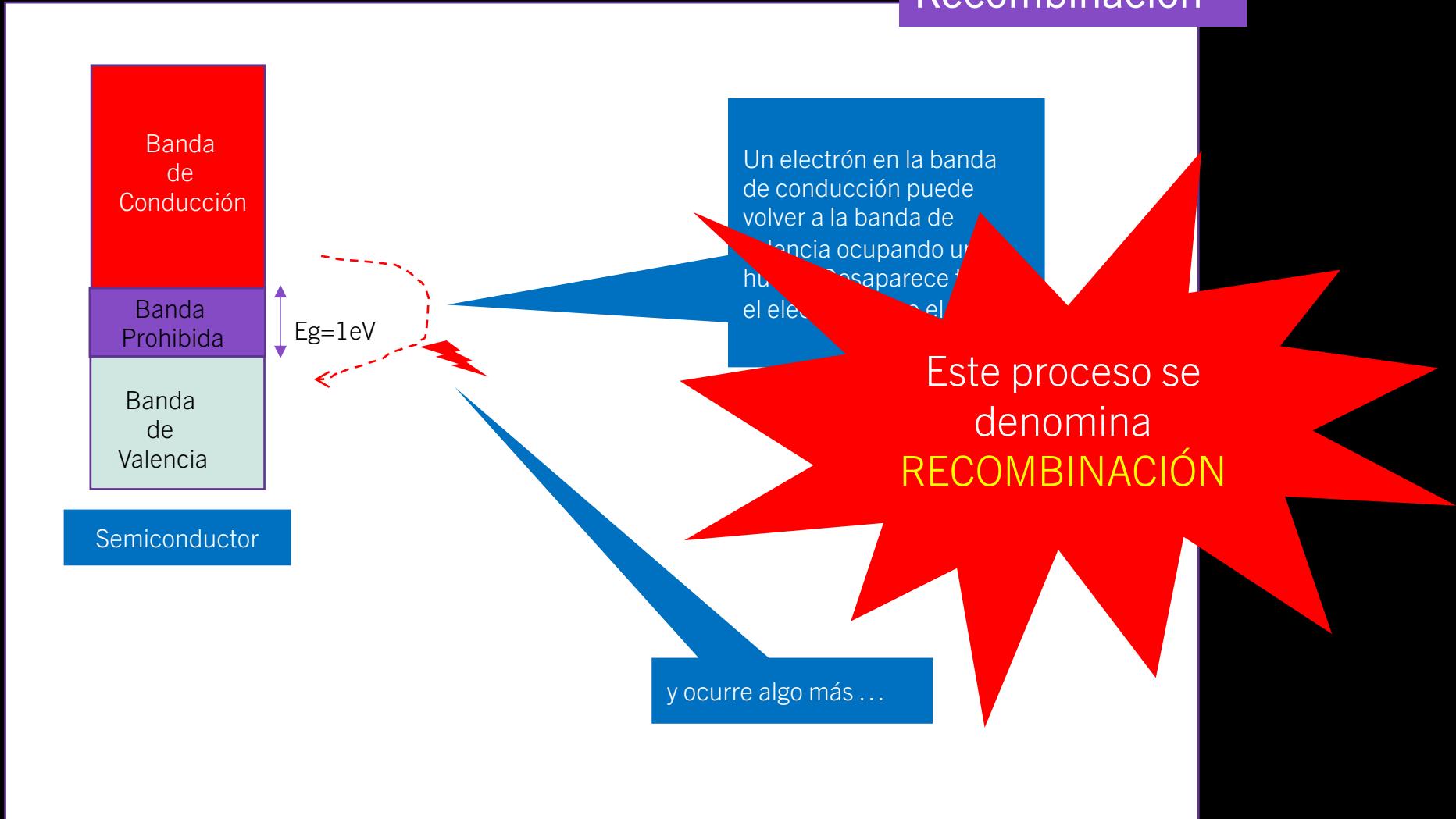
# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

## Recombinación



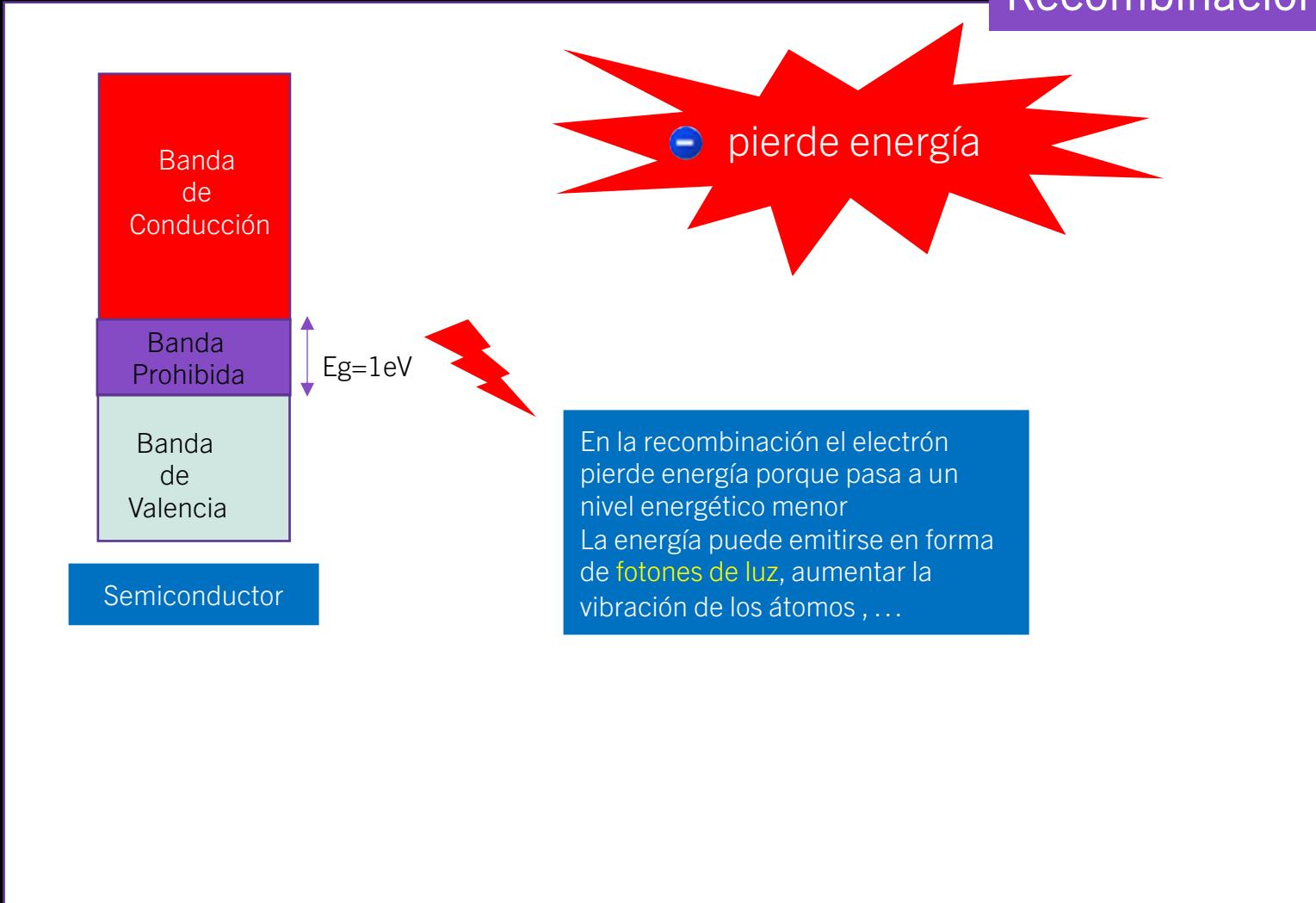
# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

## Recombinación



# MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

Recombinación

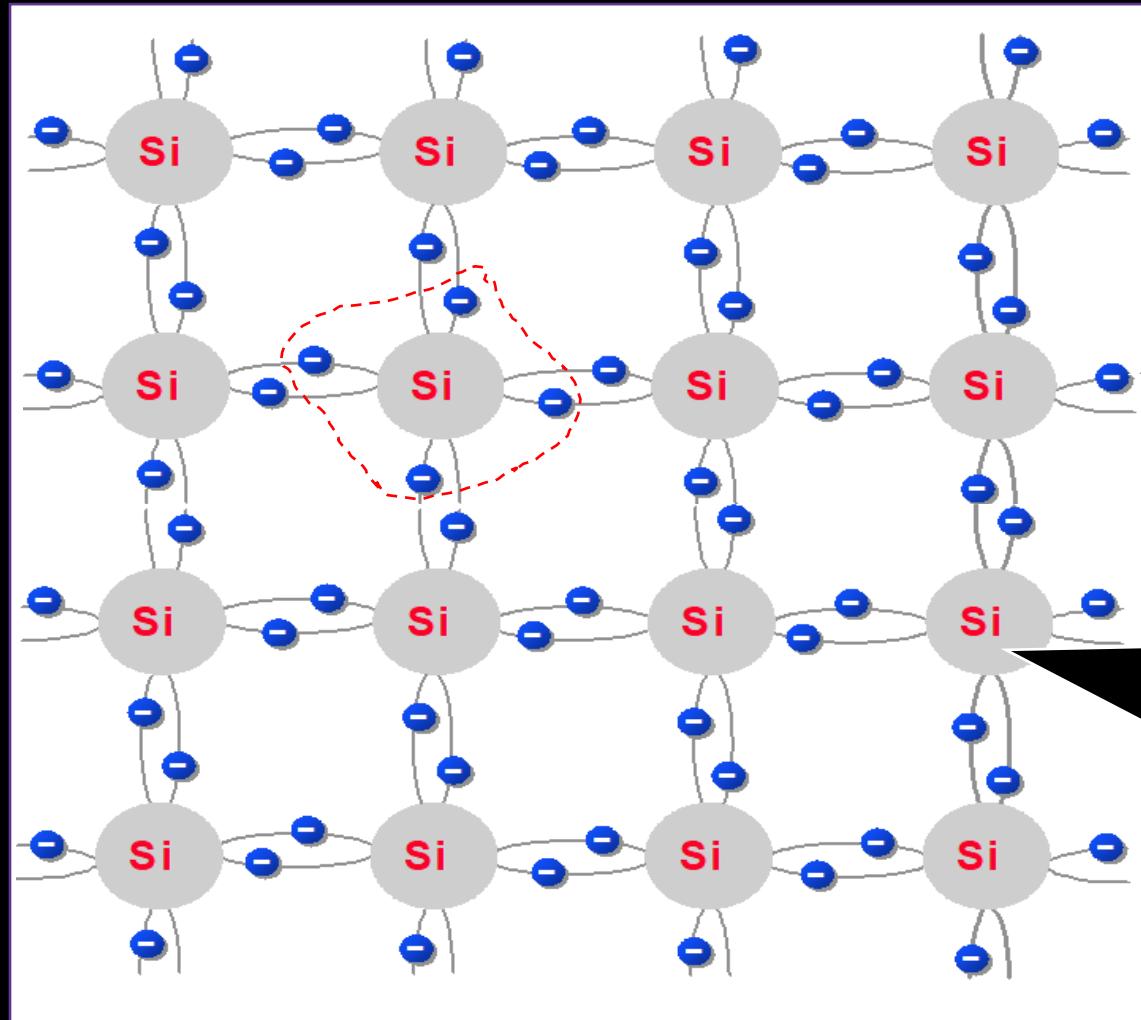


# ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

MODELO DE BANDAS DE ENERGÍA

MODELO DE ENLACE COVALENTE

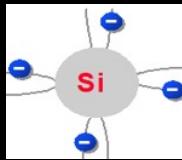
## MODELO DE ENLACE COVALENTE



Silicio a 0 K (- 273 °C)

Representación  
bidimensional

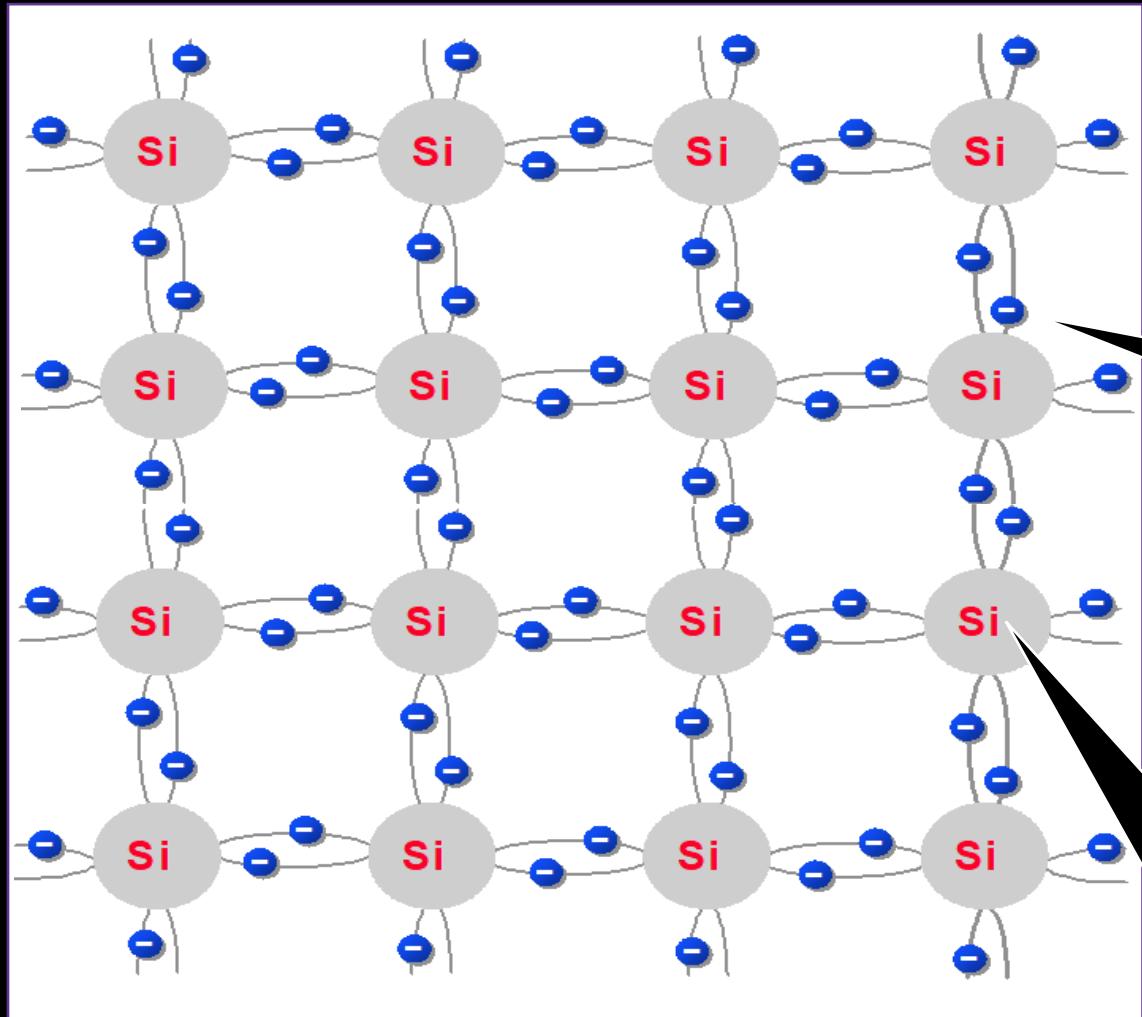
## SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO



Átomo Si individual

Solo átomos de Si

# MODELO DE ENLACE COVALENTE



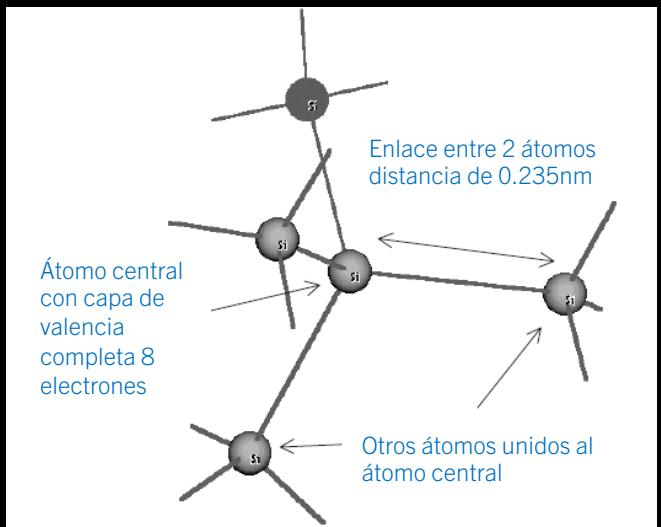
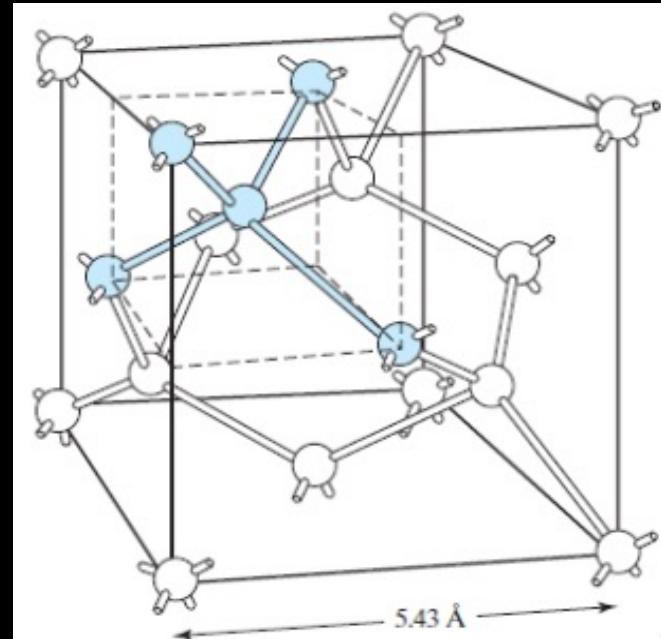
Silicio a 0 K

Red bidimensional

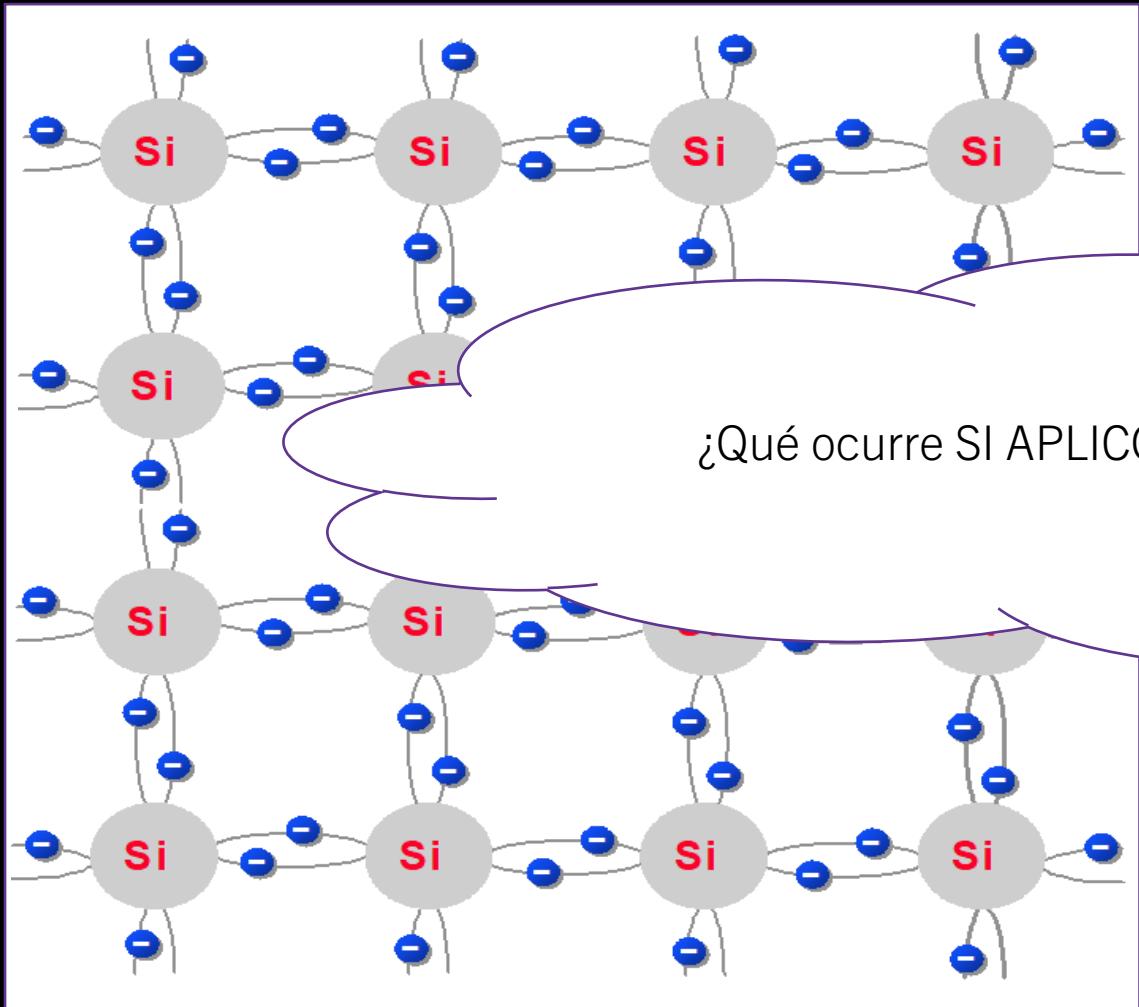
Cada átomo comparte 4 electrones con los átomos vecinos para formar una capa de valencia de 8 electrones

Electrones de valencia

Red tridimensional



## MODELO DE ENLACE COVALENTE

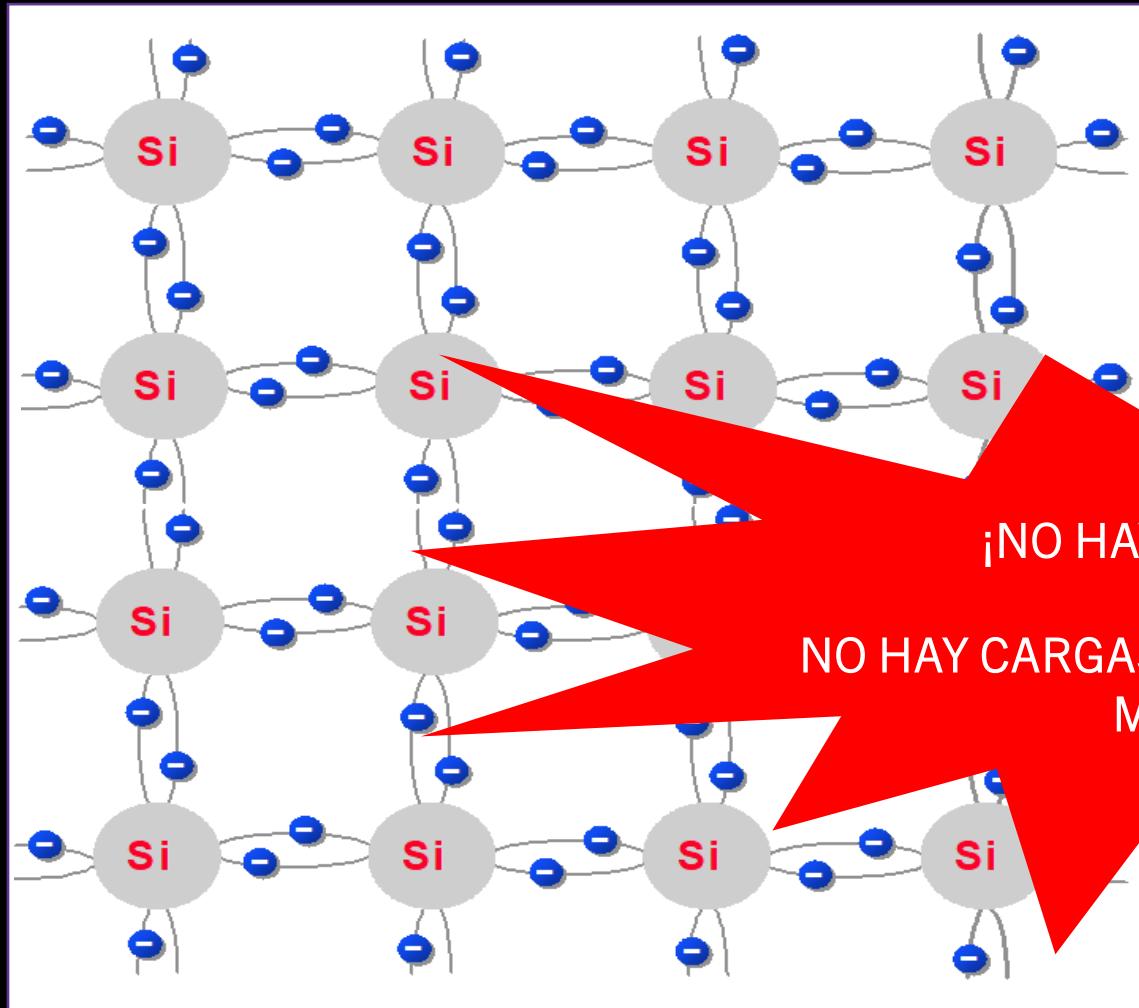


Silicio a 0 K

Red bidimensional

¿Qué ocurre SI APLICO UN CAMPO ELECTRICO?

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



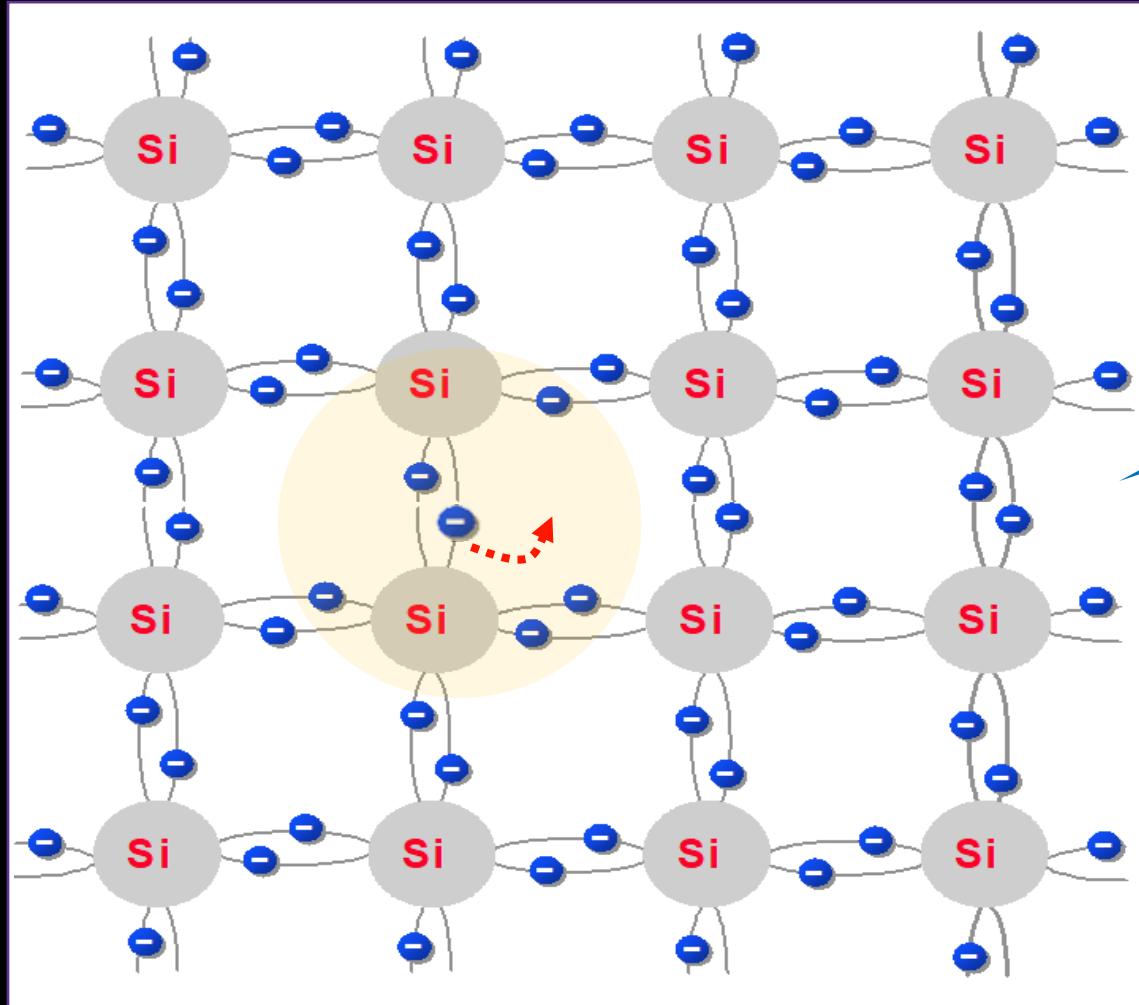
Silicio a 0 K

Red bidimensional

¡NO HAY CORRIENTE!

NO HAY CARGAS LIBRES QUE PUEDAN  
MOVERSE

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



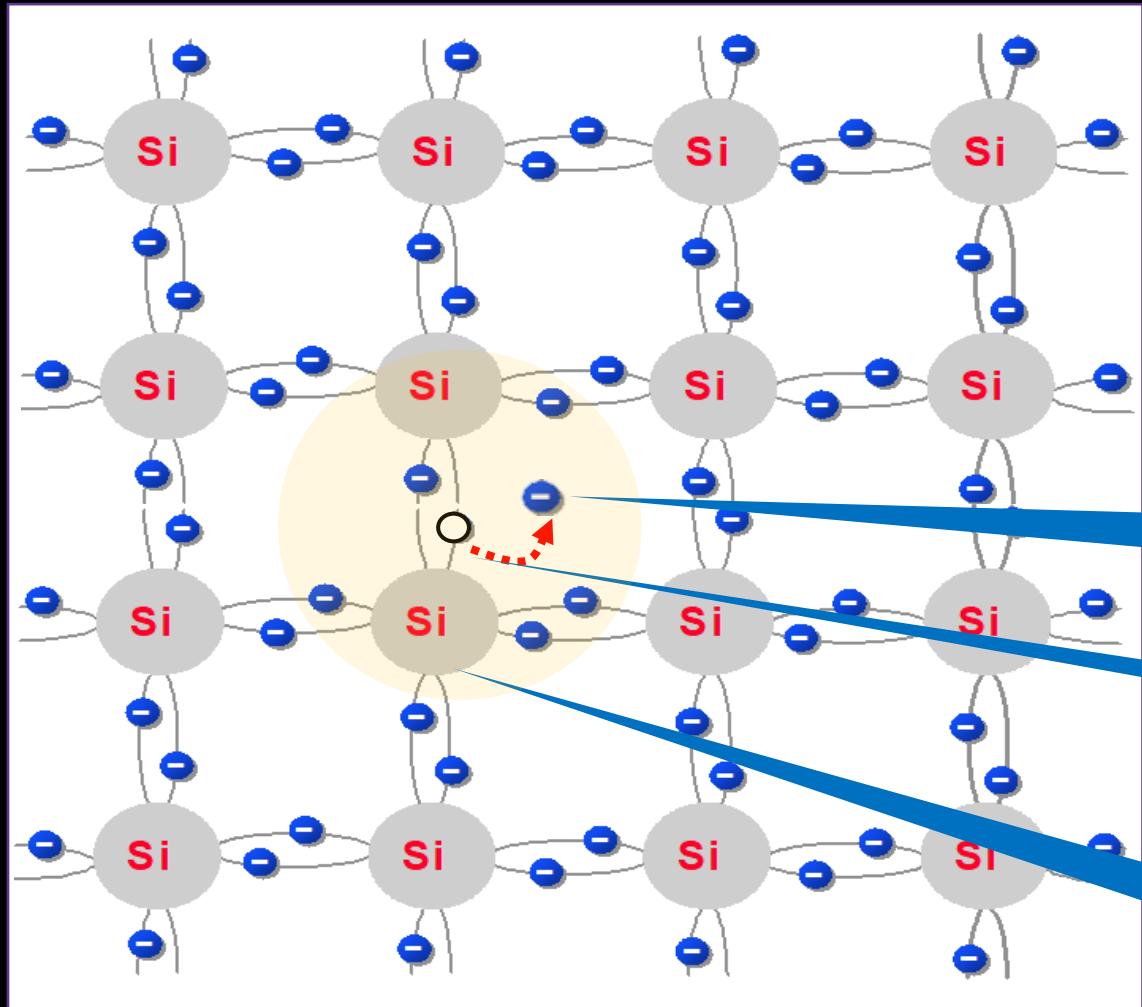
Silicio a 300 K

Red bidimensional

La situación cambia  
si aumento la  
temperatura  
300 K  
(27 °C)



## MODELO DE ENLACE COVALENTE



Silicio a 300 K

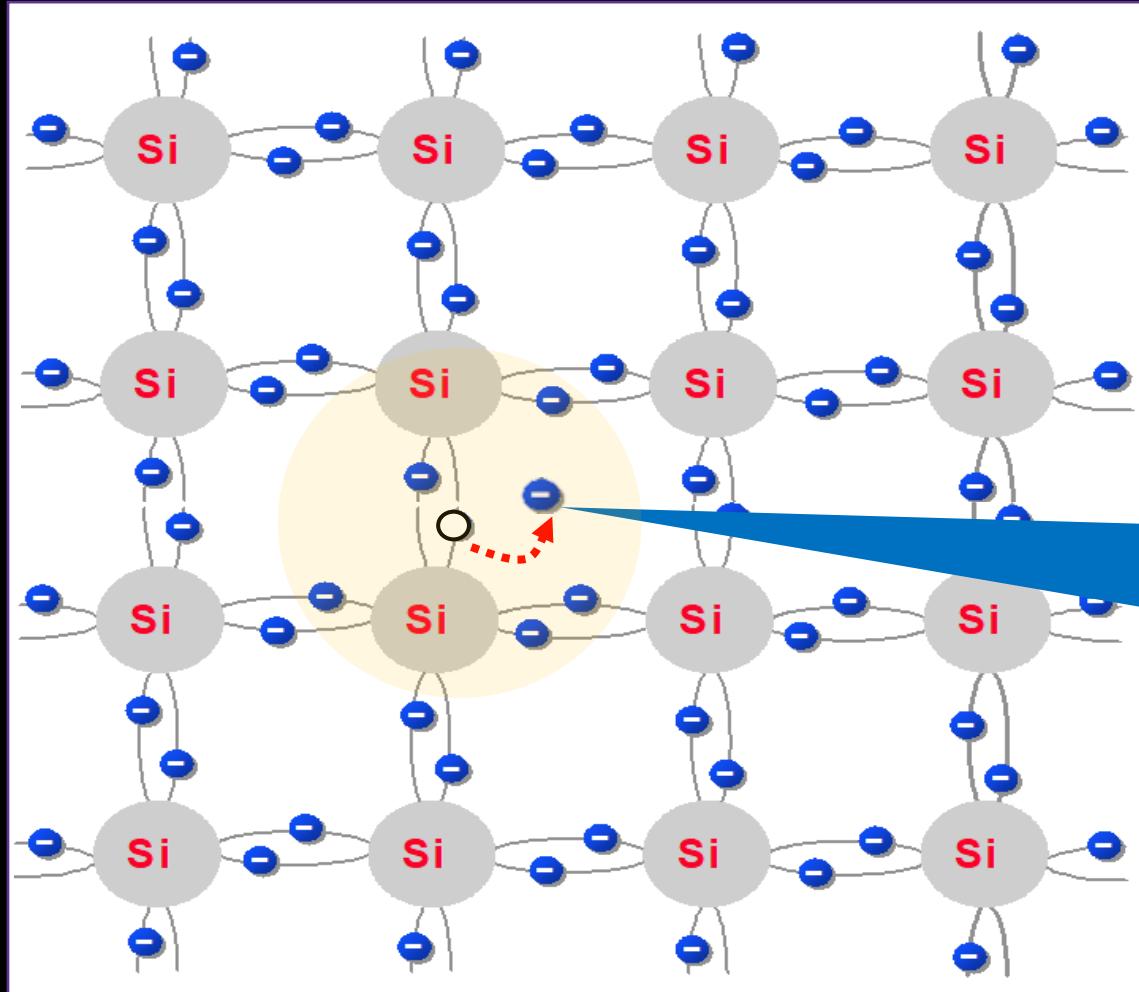
Red bidimensional

Un electrón puede salir del enlace por la energía térmica quedando libre en la red

El electrón deja un “Hueco” en el enlace

El átomo se convierte en un ion positivo que no se mueve, queda fijo en la red.

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



Silicio a 300 K

Red bidimensional

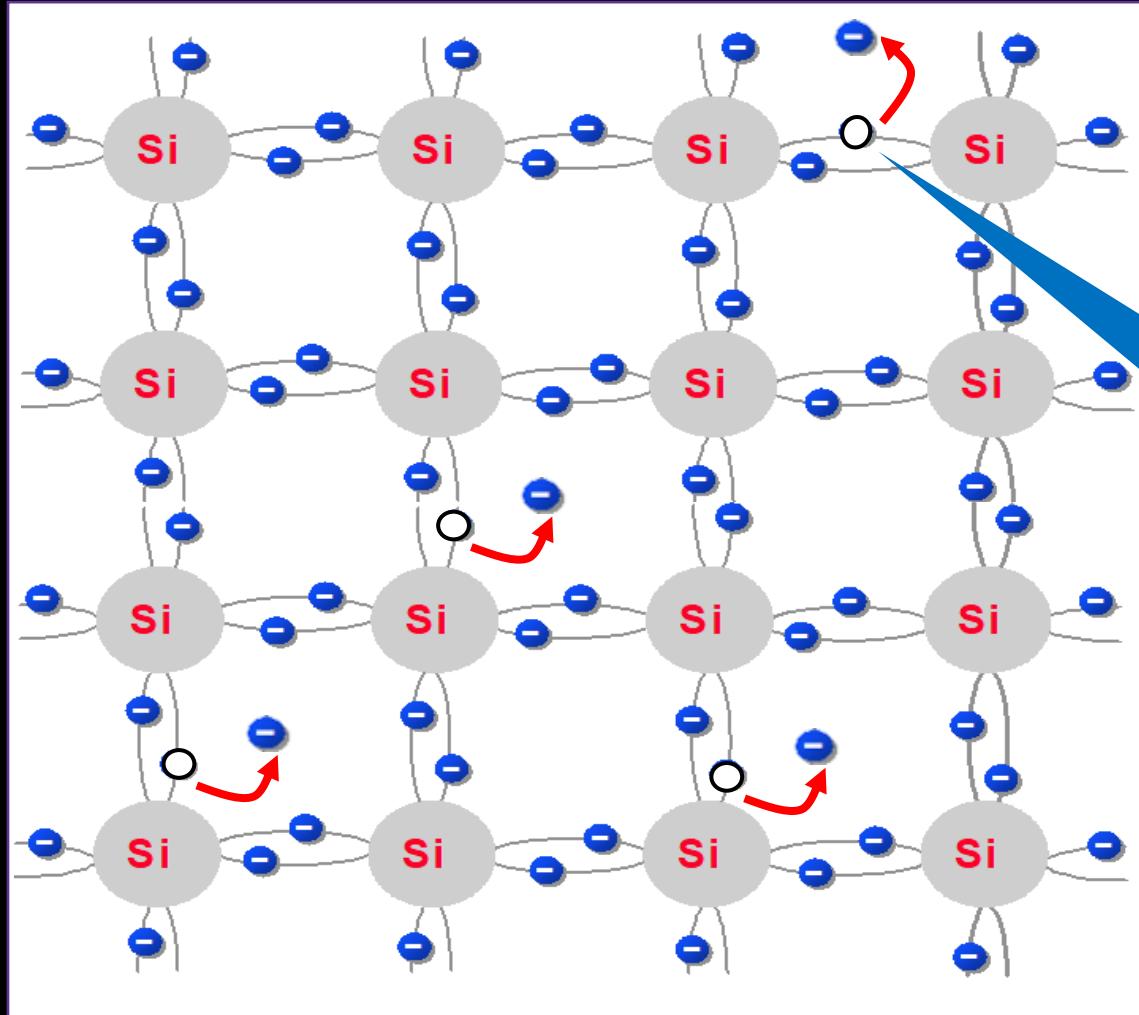
Hay cargas que pueden moverse si se aplica un campo eléctrico:

- Electrones libres
- Huecos

- carga negativa
- carga positiva

GENERACIÓN de pareja electrón-hueco

## MODELO DE ENLACE COVALENTE

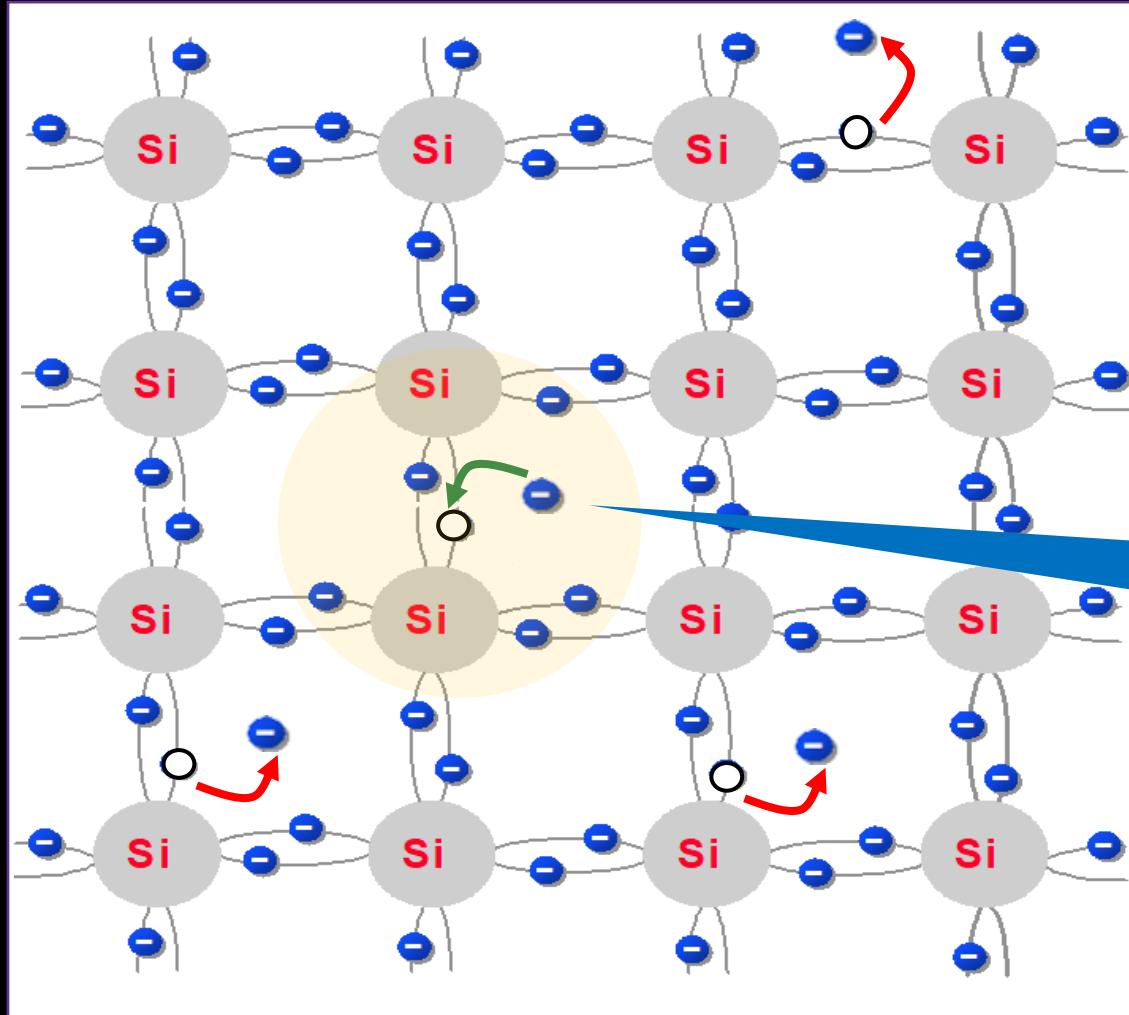


Silicio a 300 K

Red bidimensional

La generación de parejas electrón-hueco se produce en varios átomos

## MODELO DE ENLACE COVALENTE

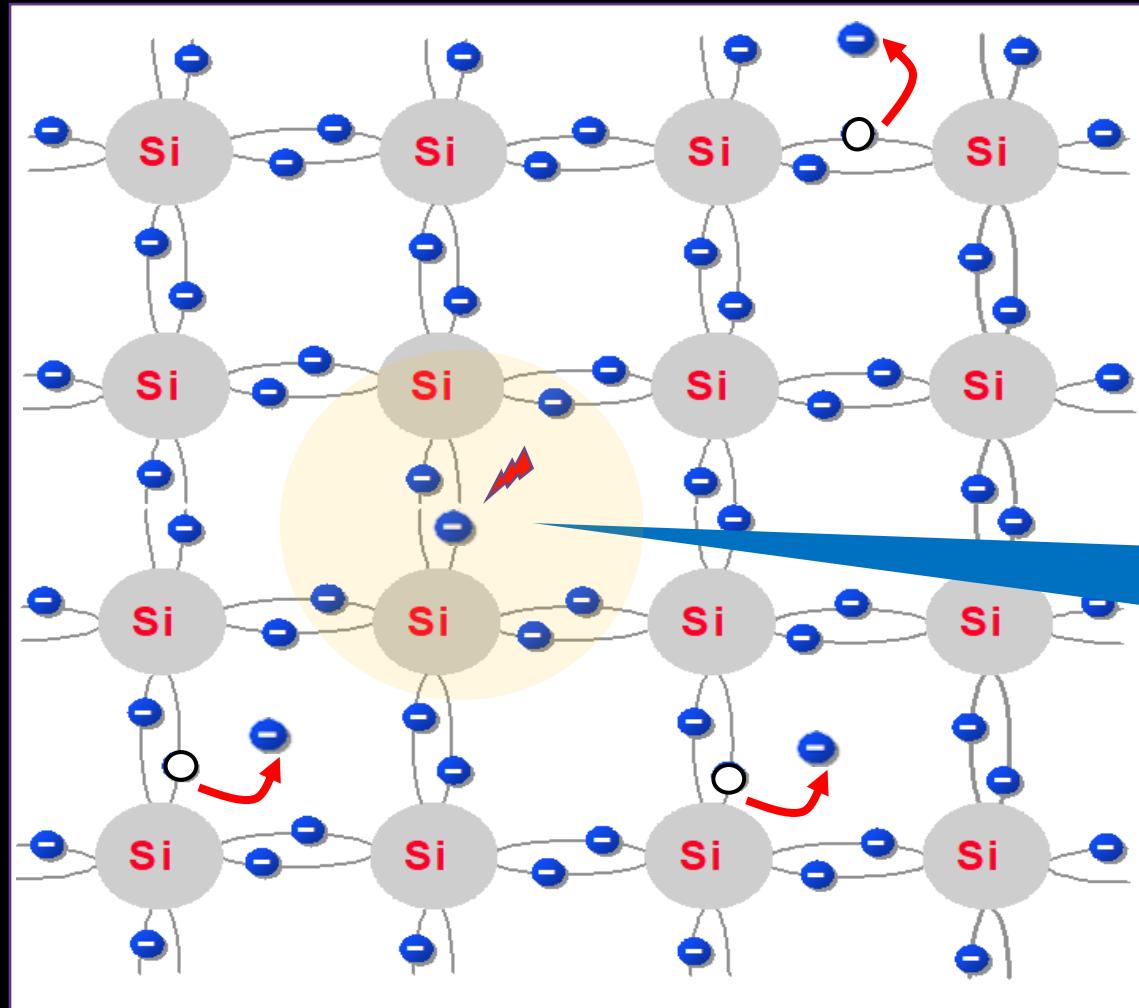


Silicio a 300 K

Red bidimensional

Los electrones libres  
también pueden volver  
a su enlace

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



Silicio a 300 K

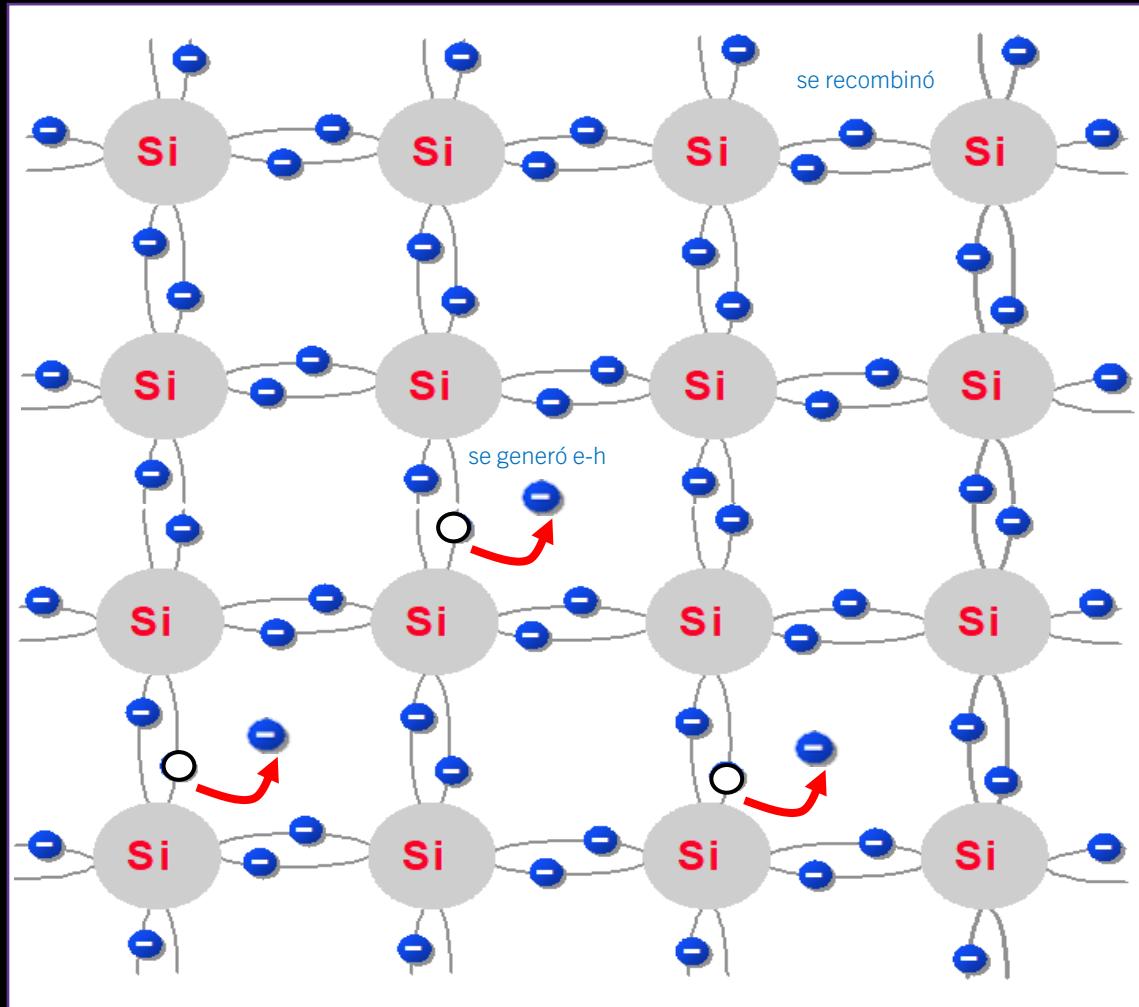
Red bidimensional

Desaparece el electrón libre y el hueco

Se libera energía como radiación electromagnética, vibración en la red...

RECOMBINACIÓN de pareja electrón-hueco

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



Red bidimensional

Silicio a 300 K

## SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

Los procesos de generación y recombinación se producen constantemente, pero se llega a un equilibrio para cada temperatura

El número de electrones es igual al número de huecos.  
¡La red es eléctricamente neutra!

$$n = p = n_i$$

Concentración de huecos  
Concentración de electrones  
concentración intrínseca

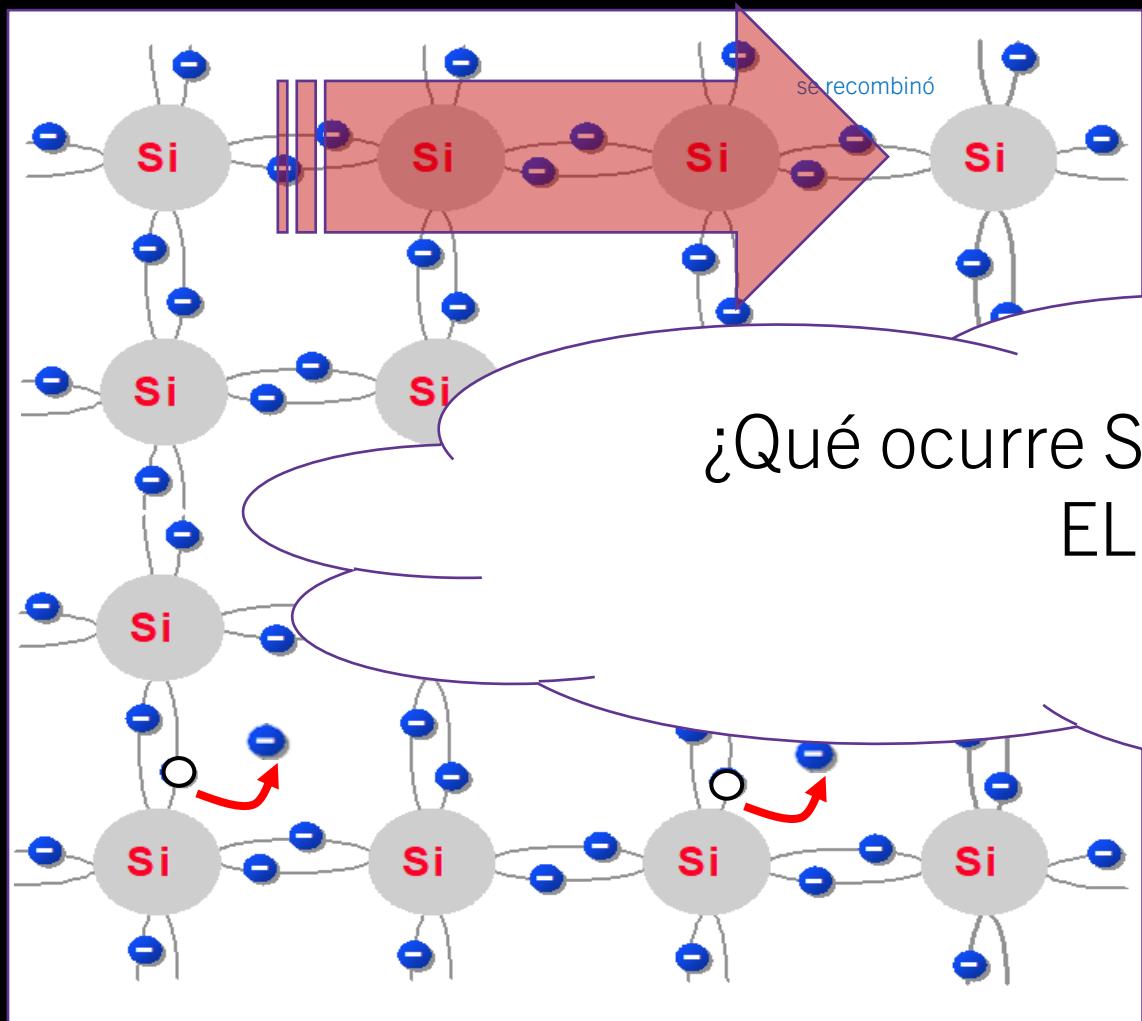
$$n p = n_i^2$$

$$n_i (\text{Si}) = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} @ 27^\circ \text{C}$$
$$n_i (\text{Ge}) = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3} @ 27^\circ \text{C}$$

$n_i$  depende de la temperatura

Silicio tiene  $5 \times 10^{22}$  átomos/cm<sup>3</sup>

## MODELO DE ENLACE COVALENTE

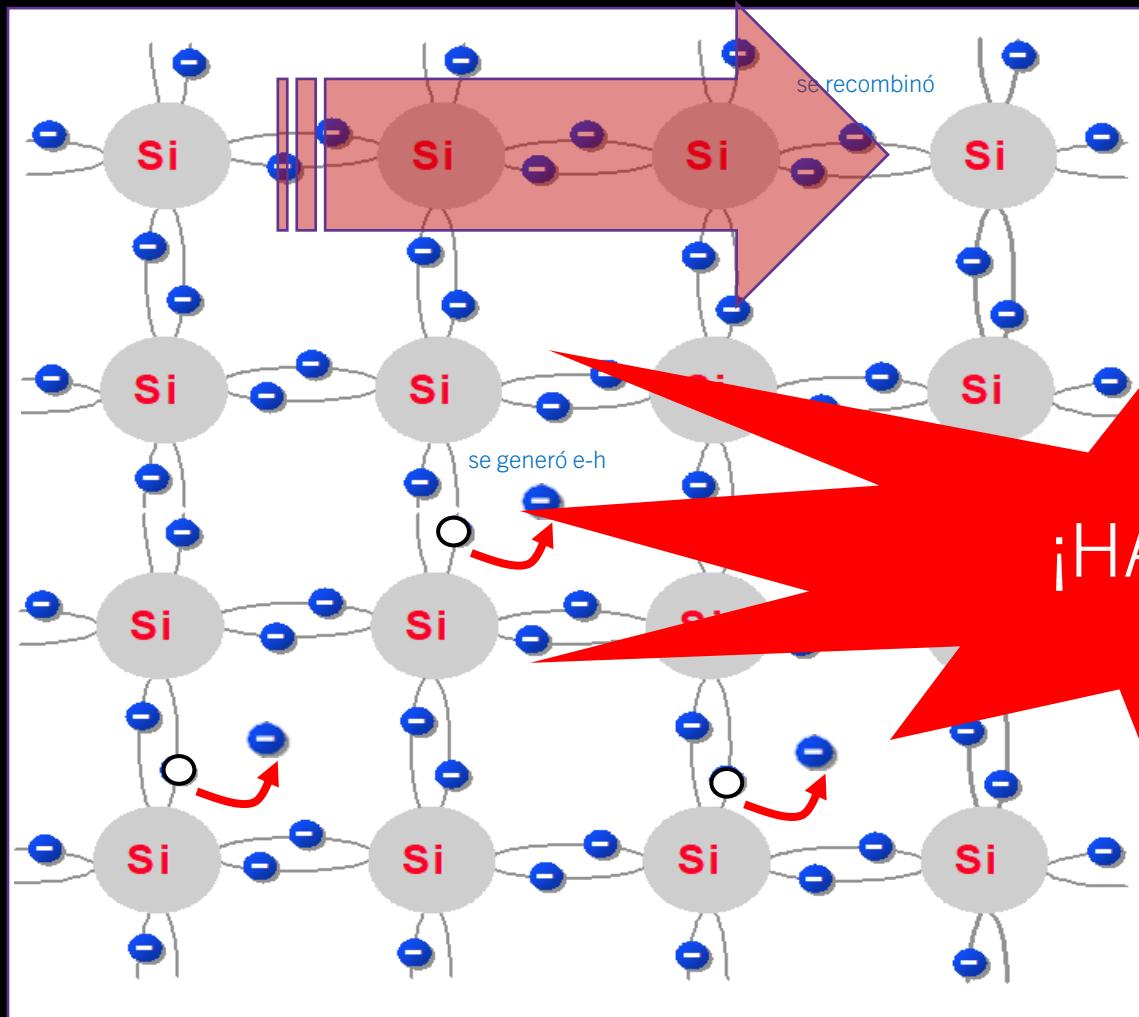


¿Qué ocurre SI APLICO UN CAMPO ELECTRICO?

Silicio a 300 K

Red bidimensional

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



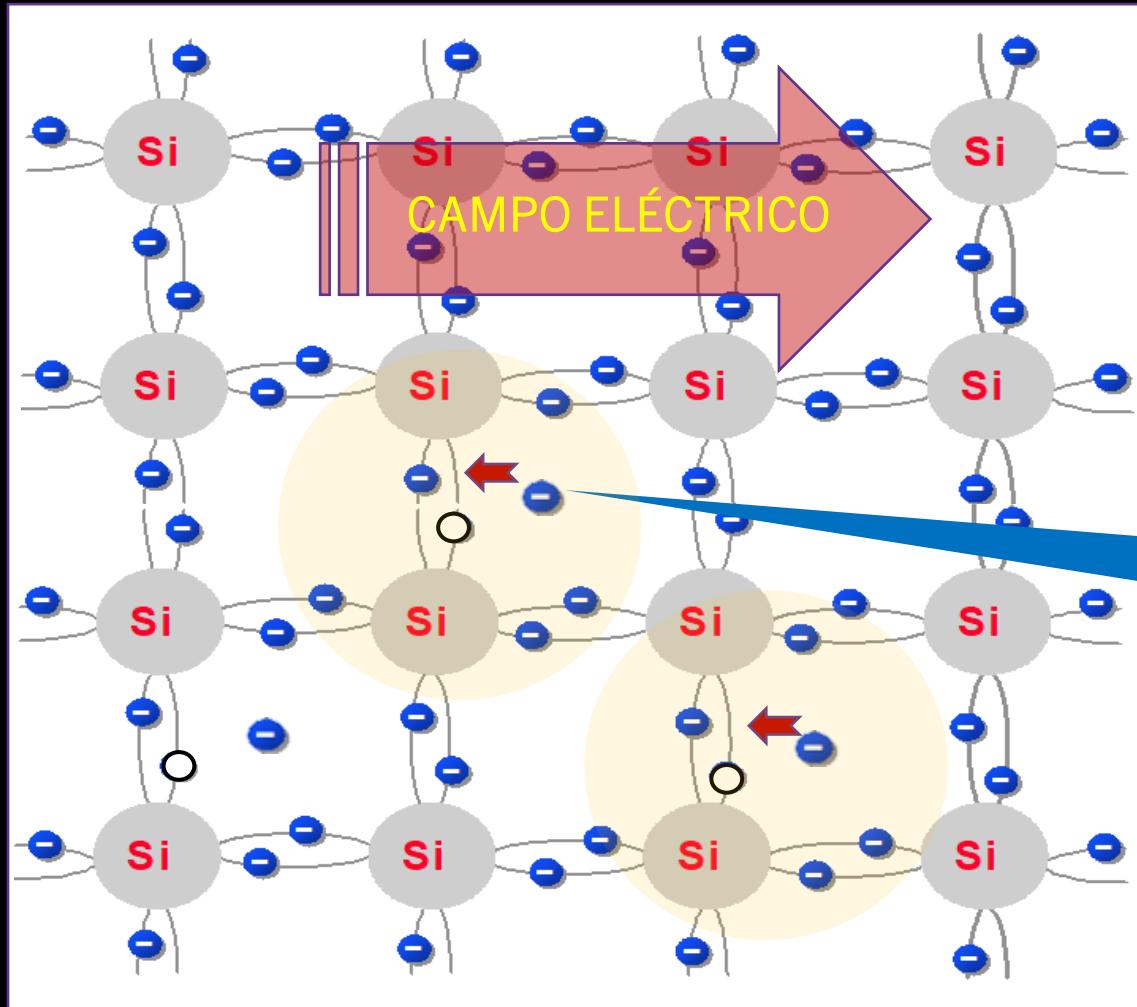
Silicio a 300 K

Red bidimensional

¡HAY CORRIENTE!

HAY CARGAS QUE PUEDEN MOVERSE

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



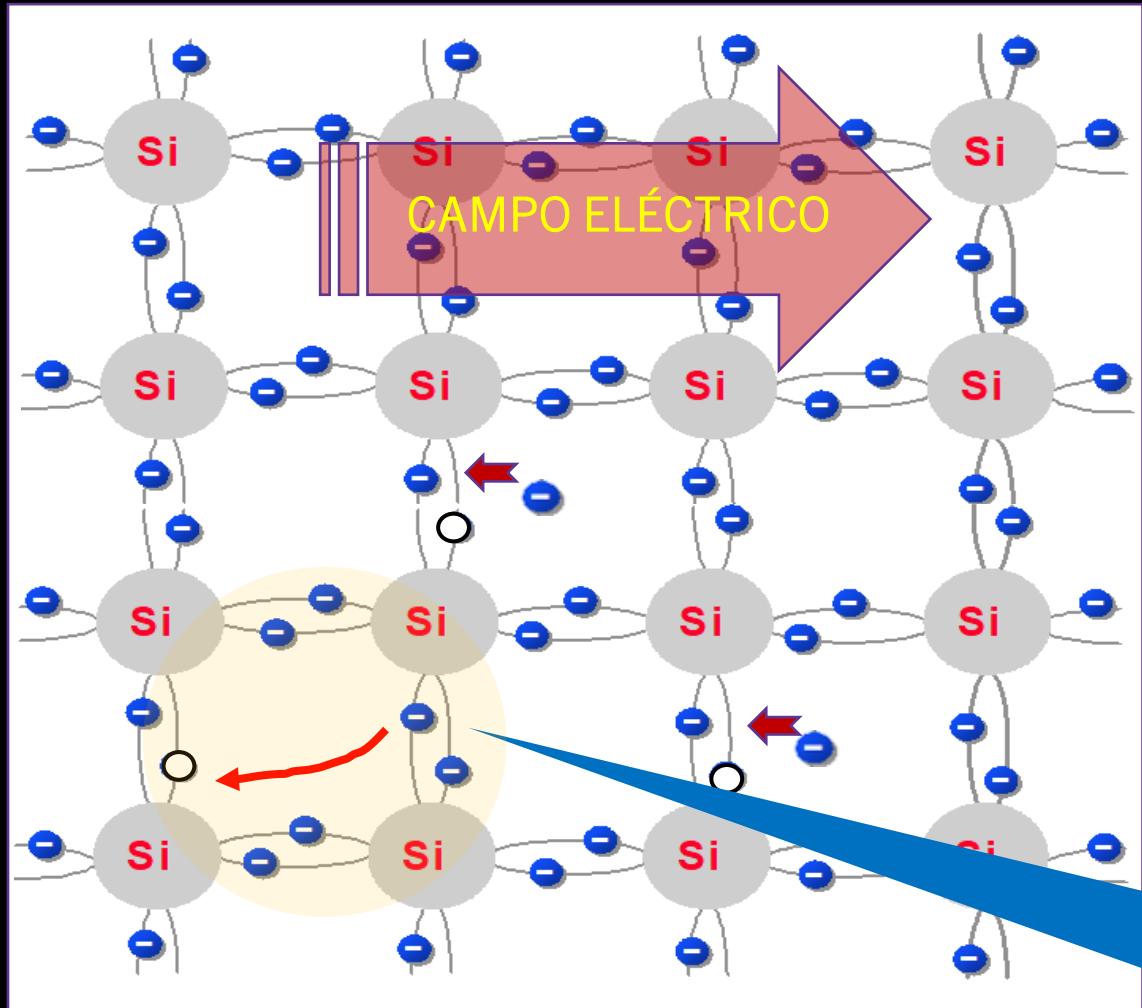
Silicio a 300 K

Redo bidimensional

Los electrones libres se  
mueven por la red en sentido  
contrario al campo

Se mueven electrones  
y ...

## MODELO DE ENLACE COVALENTE

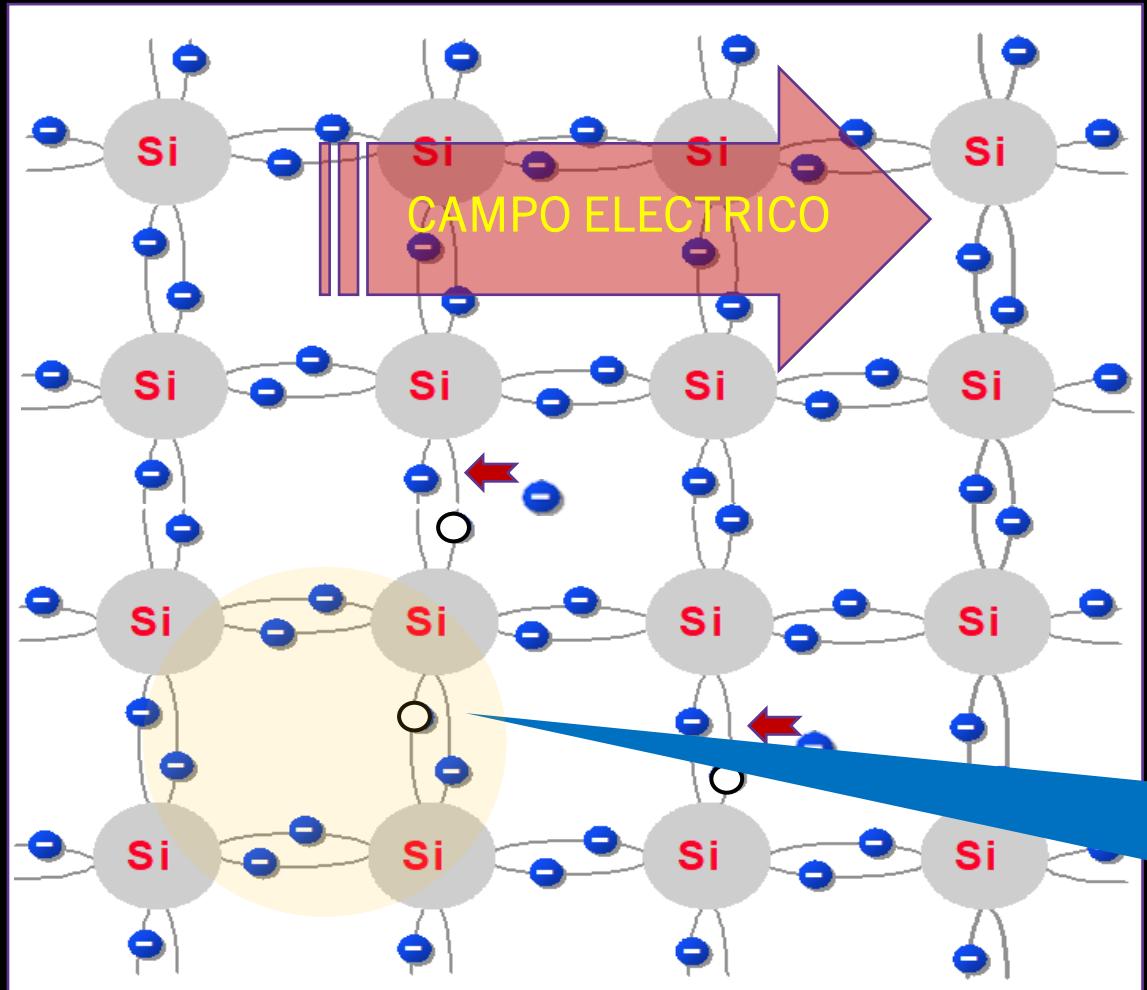


Silicio a 300 K

Red bidimensional

Un electrón de un enlace también puede moverse por acción del campo y ocupar un hueco cercano

# MODELO DE ENLACE COVALENTE



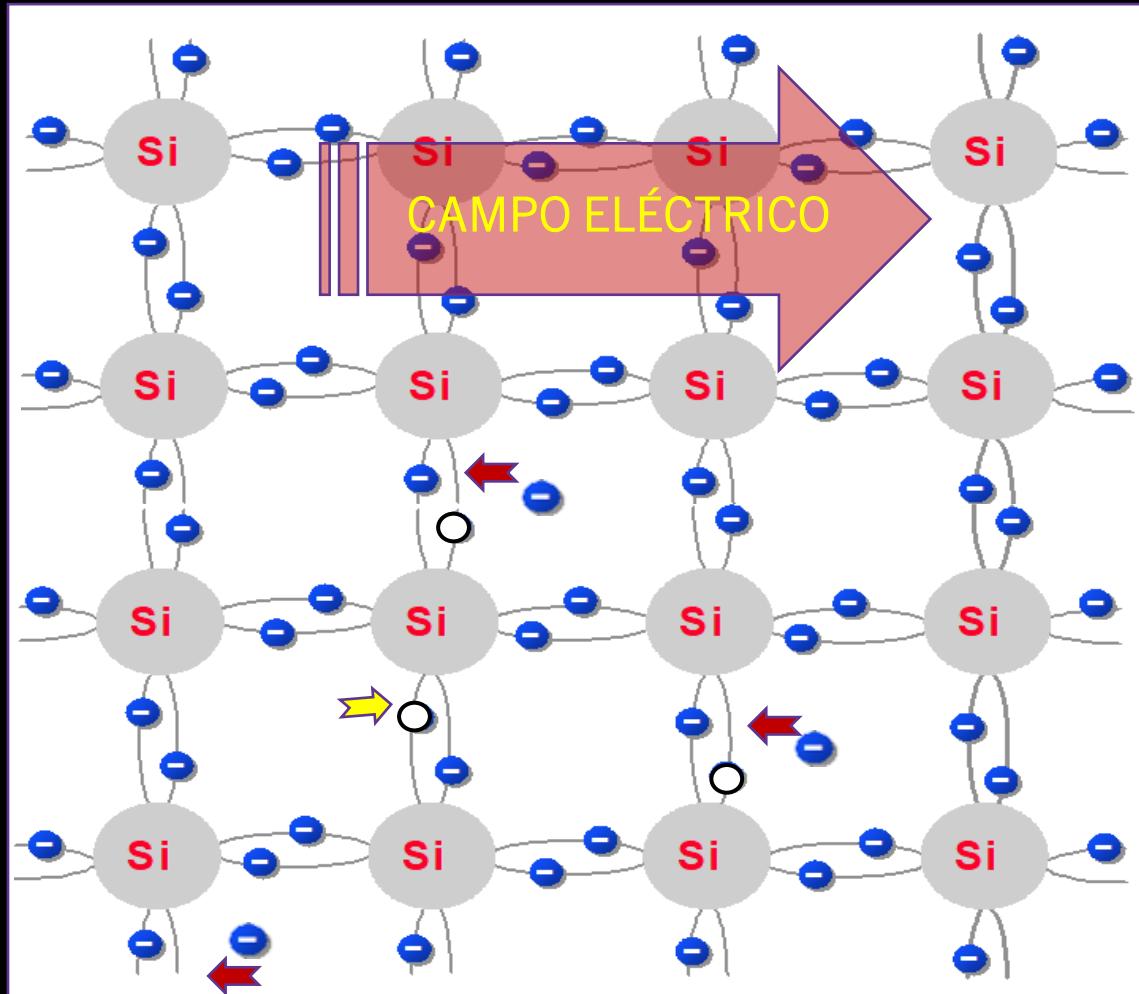
Silicio a 300 K

Red bidimensional

El efecto es como si  
un hueco se desplaza  
a la derecha  
en el sentido del  
campo

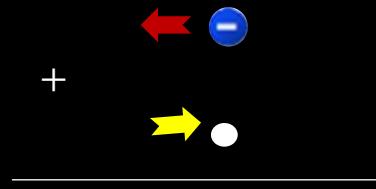
... y  
también se  
mueven huecos

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



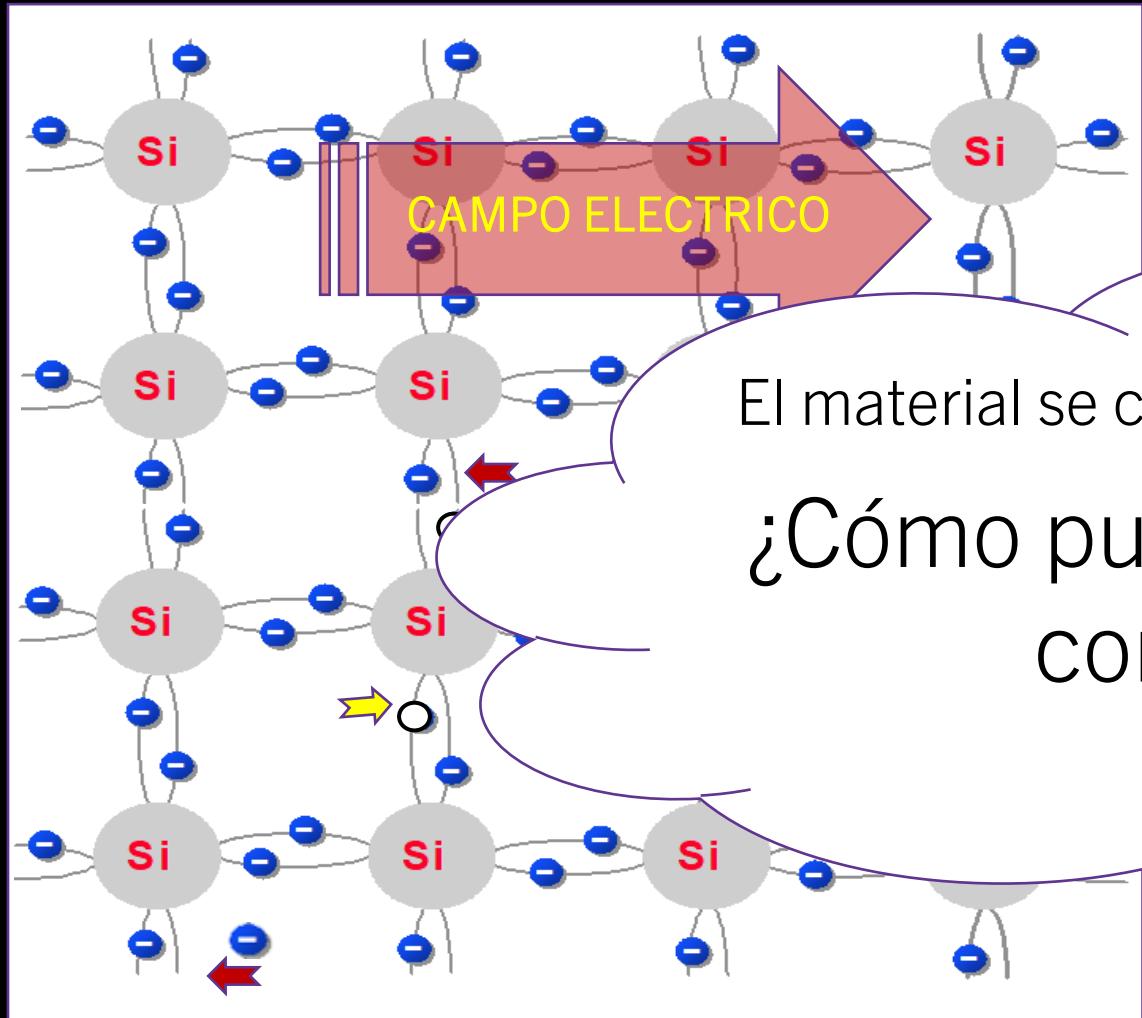
Silicio a 300 K

Redo bidimensional



La corriente total se considera como la suma de una corriente de huecos más una corriente de electrones

## MODELO DE ENLACE COVALENTE

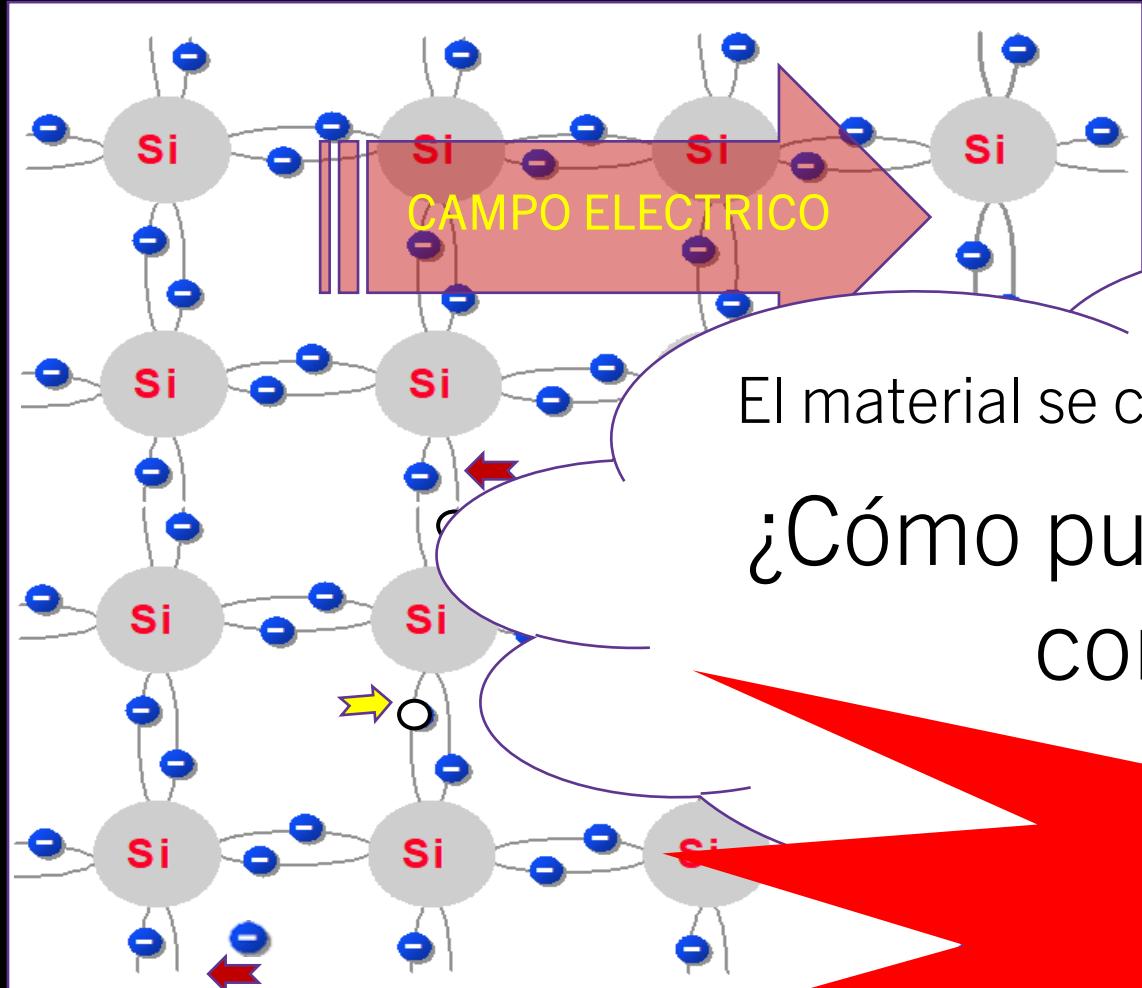


El material se comporta como un mal conductor ...

¿Cómo puedo incrementar su conductividad?

Silicio a 300 K

## MODELO DE ENLACE COVALENTE



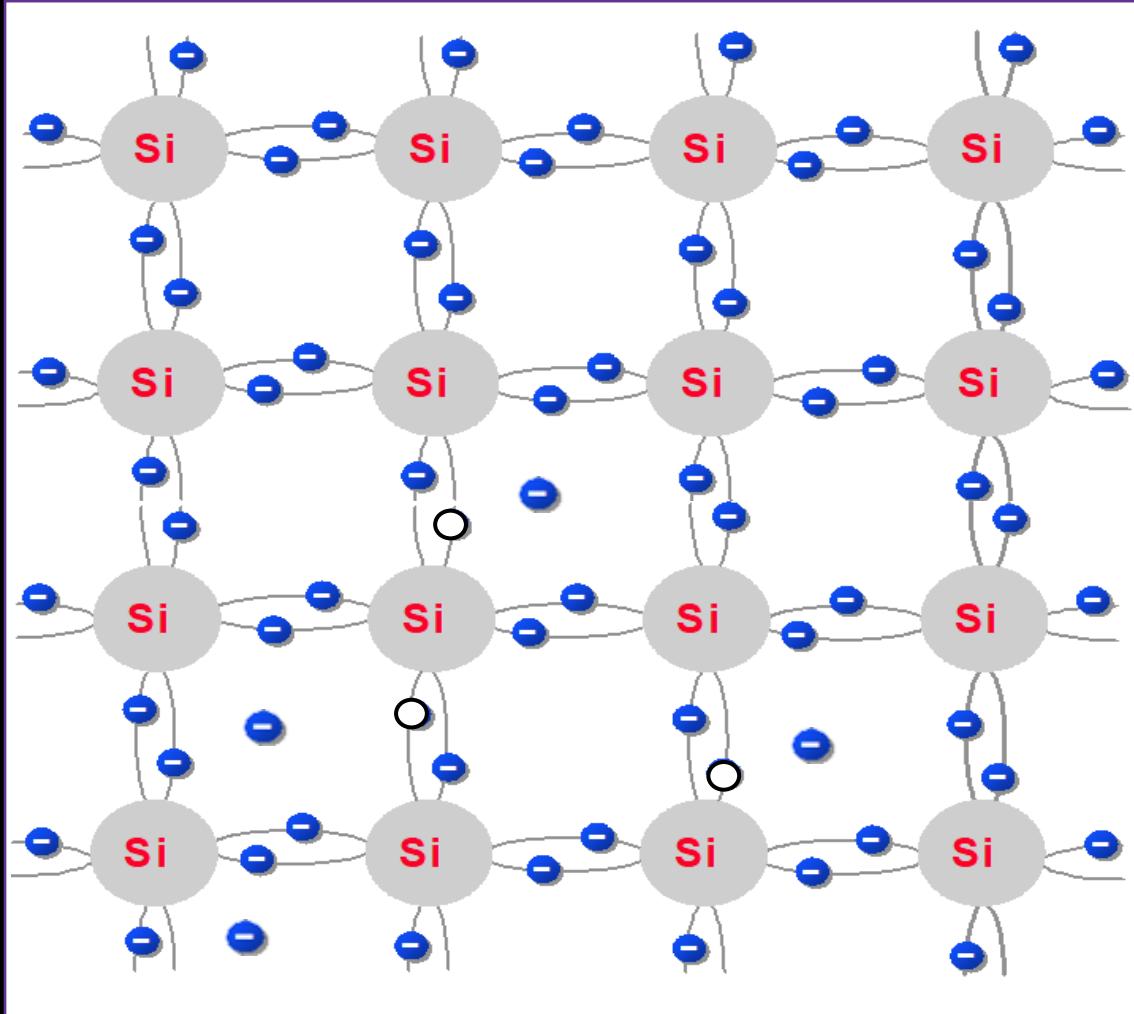
El material se comporta como un mal conductor ...

¿Cómo puedo incrementar su conductividad?

SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS

Silicio a 300 K

## MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



Silicio a 300 K

Red bidimensional

INTRODUZCO IMPUREZAS  
para aumentar la conductividad

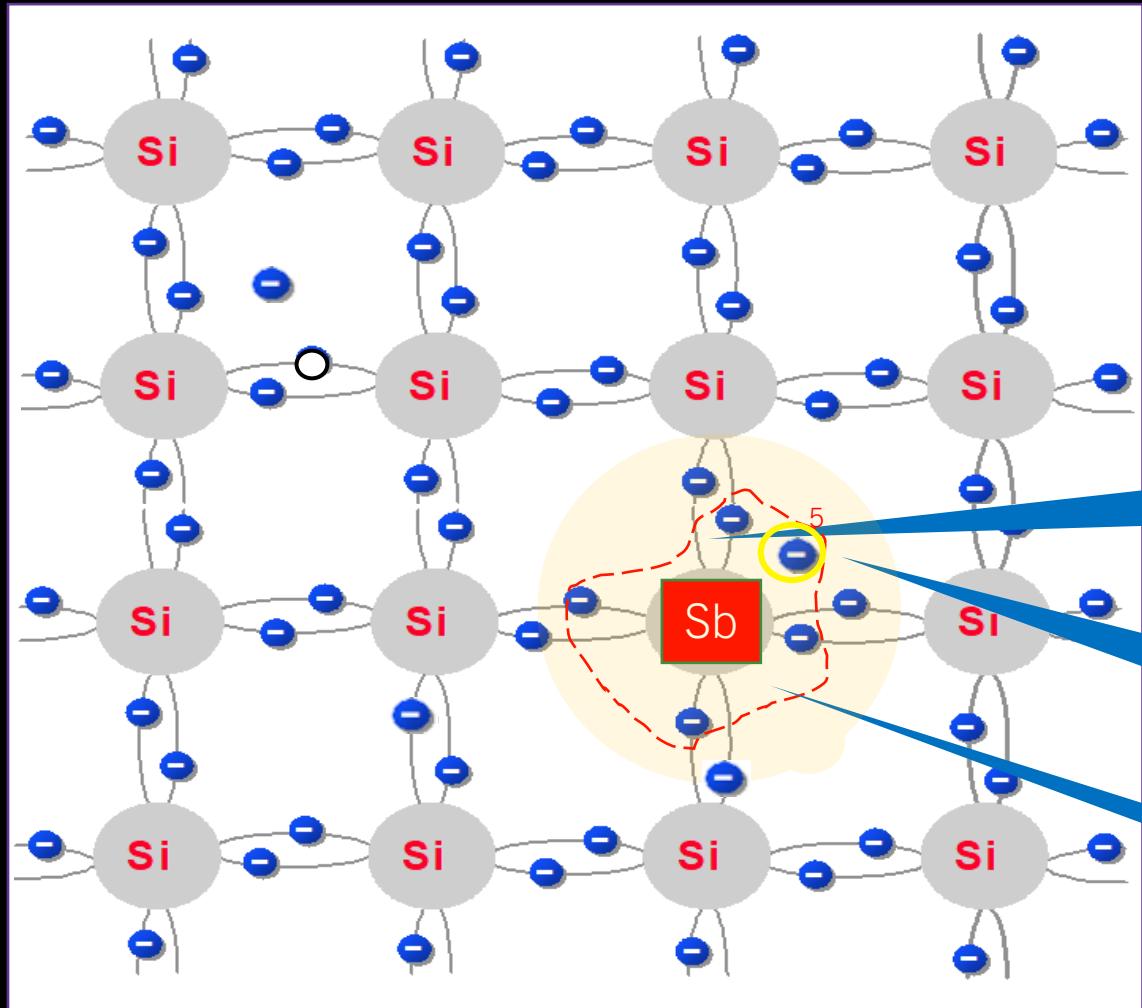
### Impureza

Átomos de otro tipo que se añade para incrementar los huecos o los electrones capaces de moverse por el material

### Dopado

proceso por el que se agregan impurezas en un semiconductor con el fin de cambiar sus propiedades eléctricas.

# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO

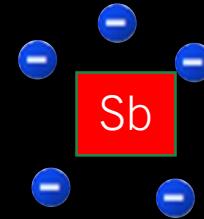


Silicio a 300 K

Red bidimensional

A esta temperatura  
considero todas las  
impurezas ionizadas

Impureza  
donadora



El antimonio  
tiene 5  
electrones de  
valencia

Grupo 15  
(antiguo grupo V)



antimonio



arsénico



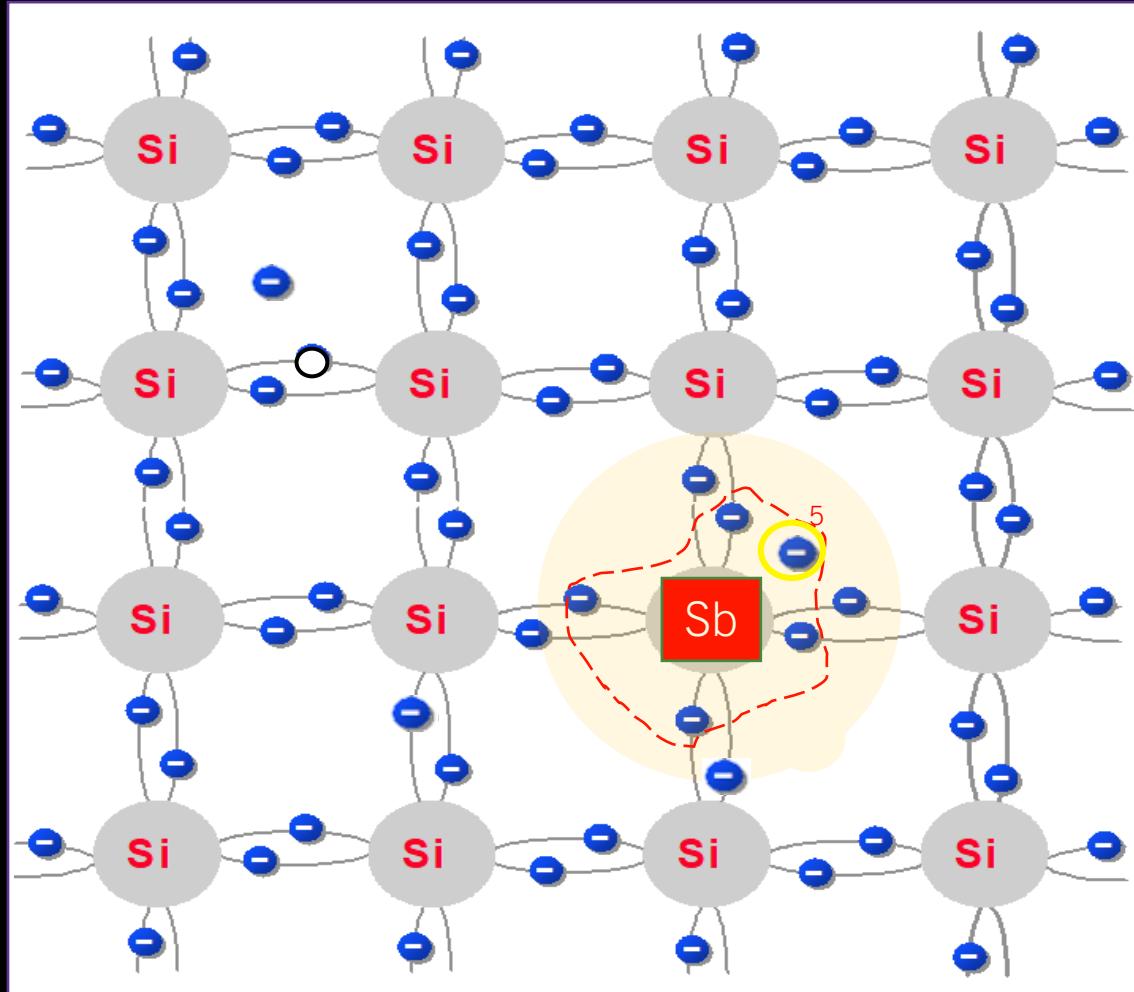
fósforo

Un electrón del Sb está  
muy poco ligado al  
átomo

A temperatura ambiente se  
desliga del átomo,  
generando un electrón libre

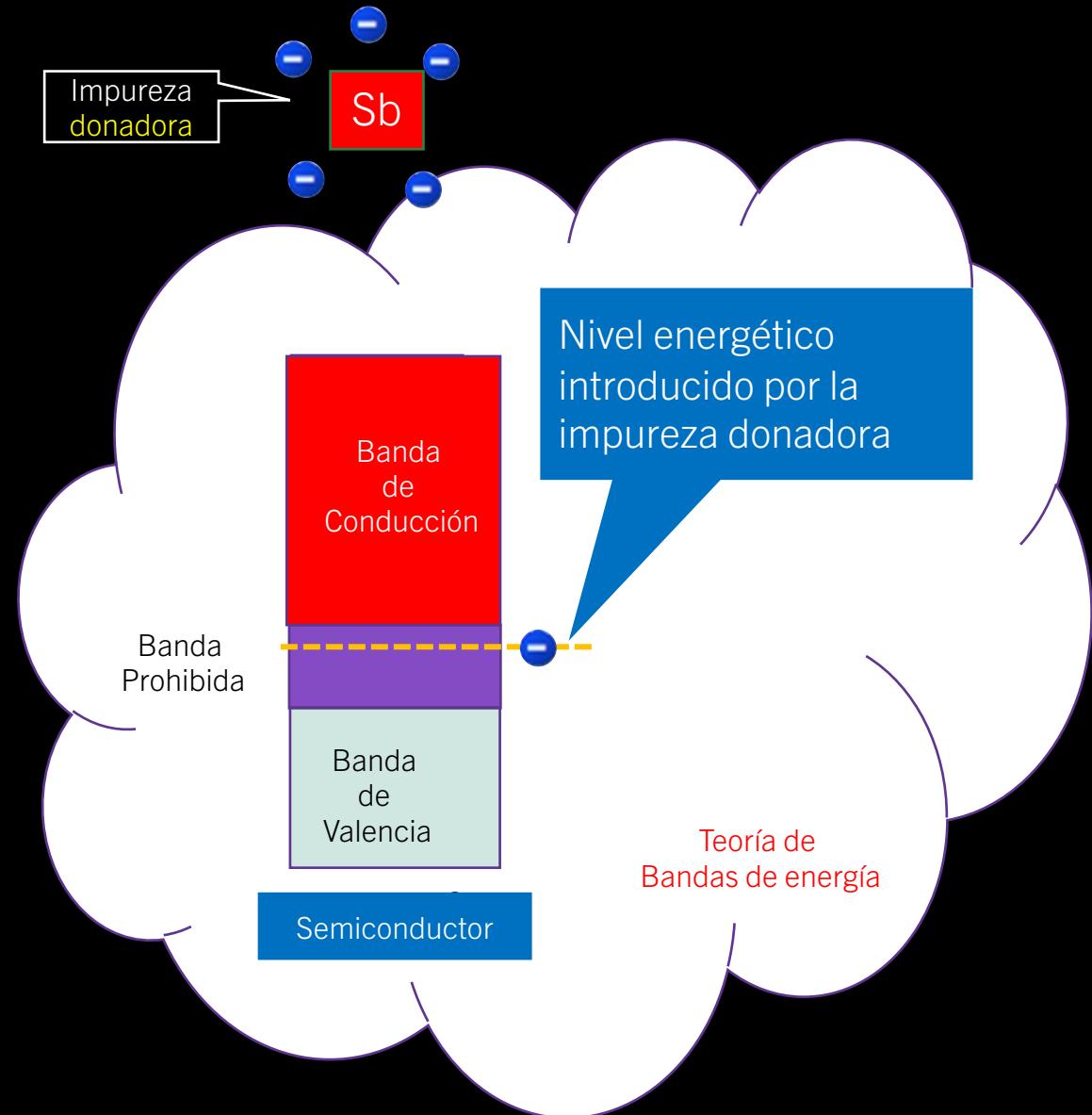
La impureza se ioniza  
positivamente

# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO

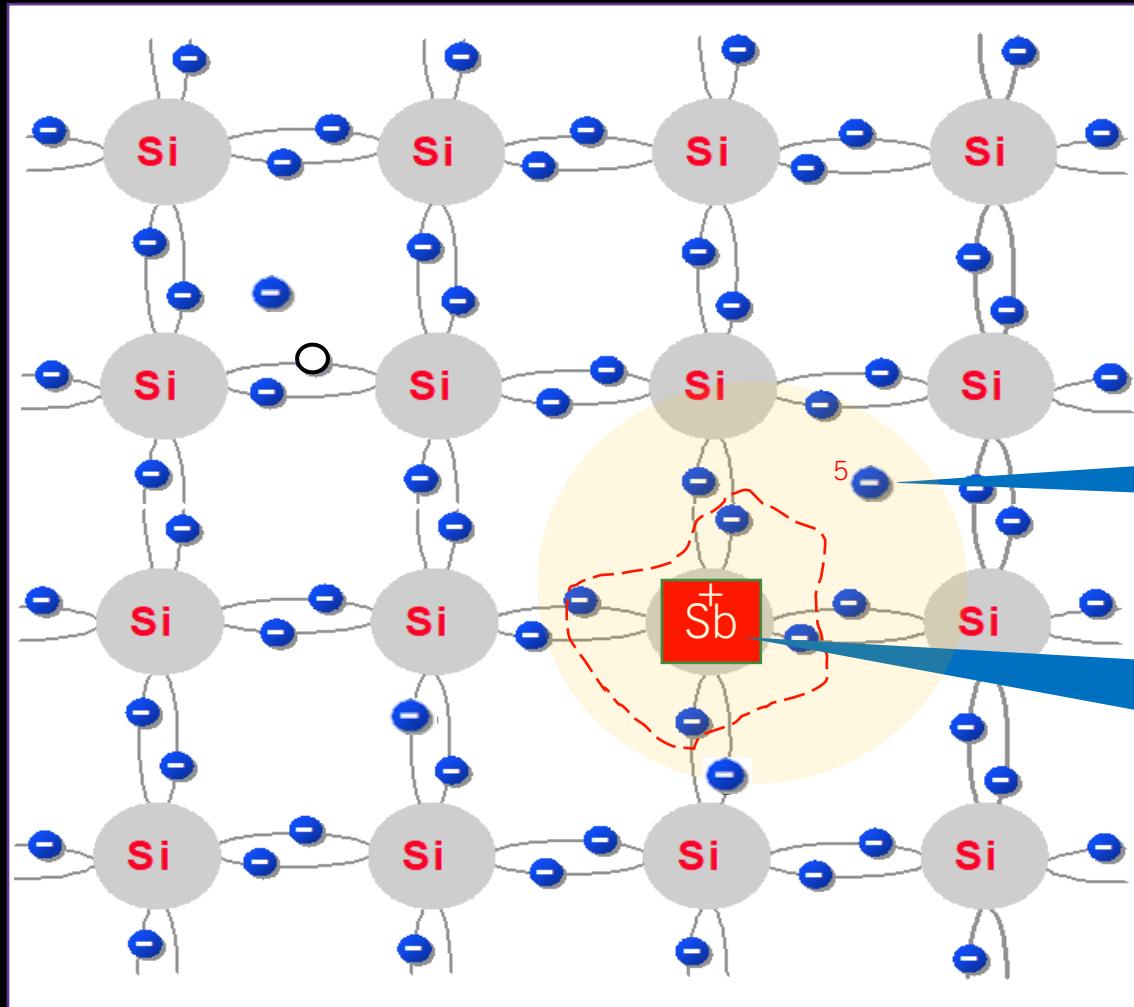


Silicio a 300 K

Red bidimensional



# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



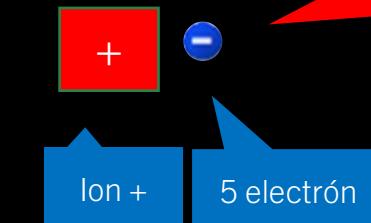
Silicio a 300 K

Red bidimensional



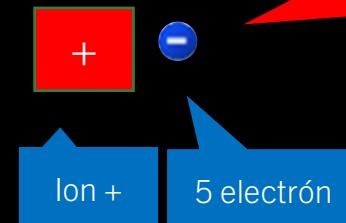
Electrón es libre de moverse por la red

Impureza ionizada  
Ión positivo



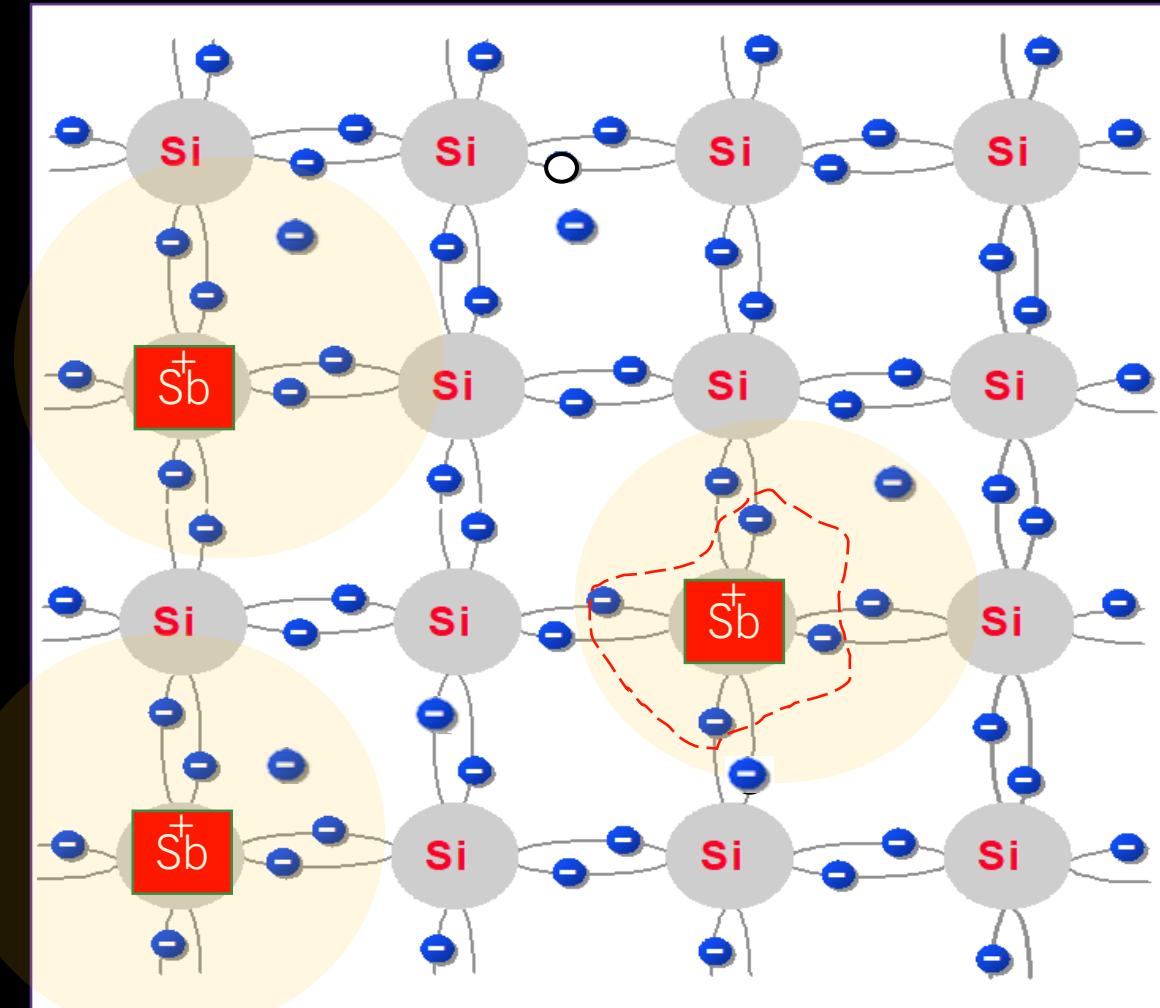
Por cada átomo de impureza que introduzca incorporo un electrón a la red cuando se ioniza la impureza

SEMICONDUCTOR  
TIPO N

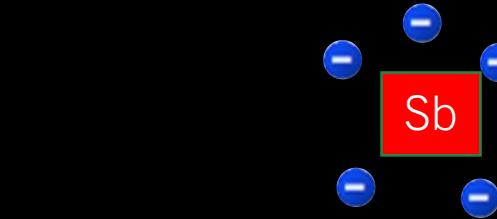


Ion + 5 electrón

# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



Concentración intrínseca  
 $n_i (\text{Si}) = 1,5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} @ 27^\circ \text{C}$



## SEMICONDUCTOR TIPO N

Grados de dopado

$N^{++}$

Una concentración **muy alta** de dopado se representa por  $N^{++}$ , alrededor de 1 átomo de impureza por cada 10.000 átomos de silicio, equivale a  $10^{18}$  átomos de impureza /  $\text{cm}^3$  ( $5 \times 10^{22}$  átomos de Si / 10.000 ).

$N^+$

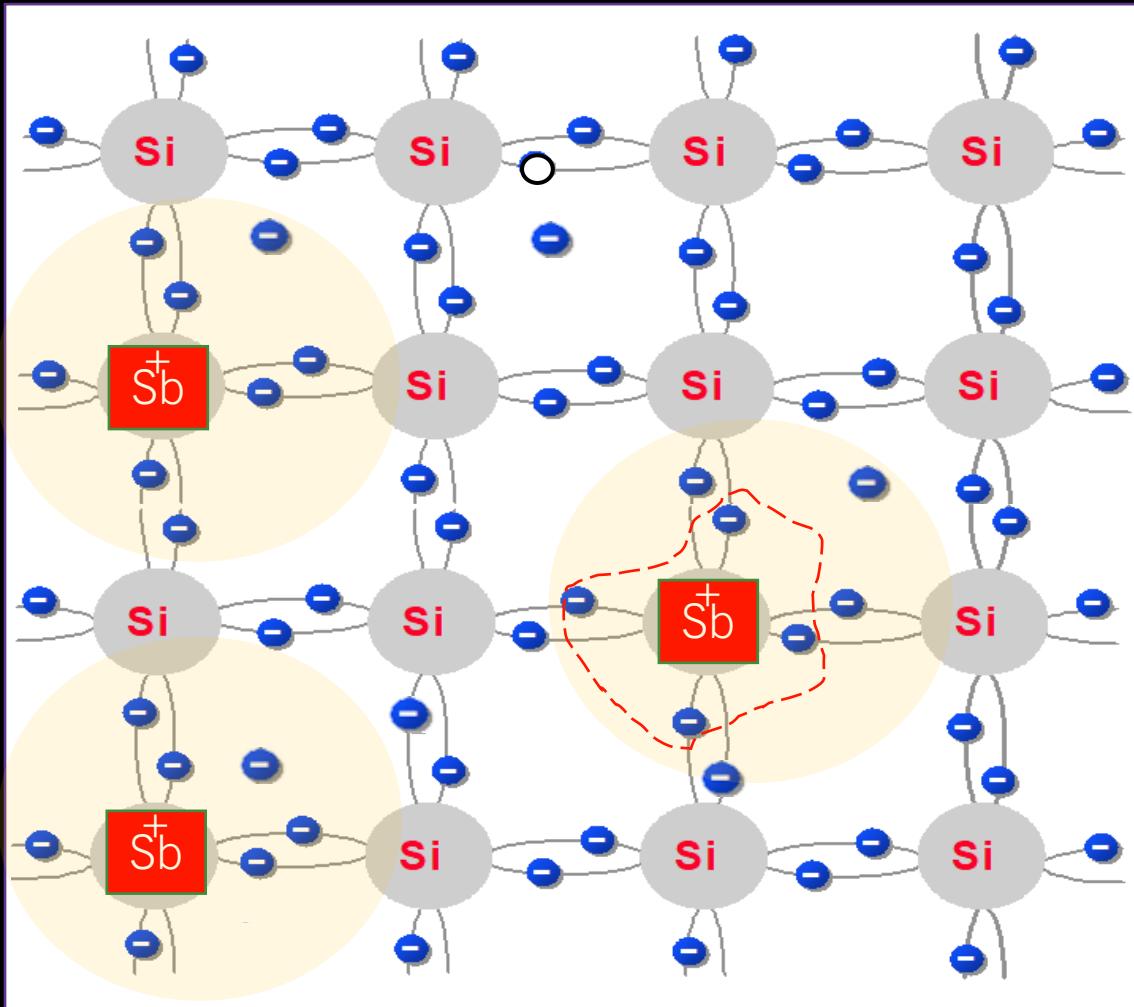
Una concentración **alta** de dopado se representa por  $N^+$  alrededor de 1 átomo de impureza por cada 1.000.000 de átomos de silicio, es decir,  $10^{16}$  átomos de impureza /  $\text{cm}^3$ .

$N^-$

Una **baja** concentración de donantes se denomina  $N^-$  (1 átomo de impureza por cada 100.000.000 de átomos de silicio, o  $10^{14}$  átomos de impureza /  $\text{cm}^3$ ).

El dopado introduce portadores de un tipo en varios ordenes de magnitud sobre  $n_i$

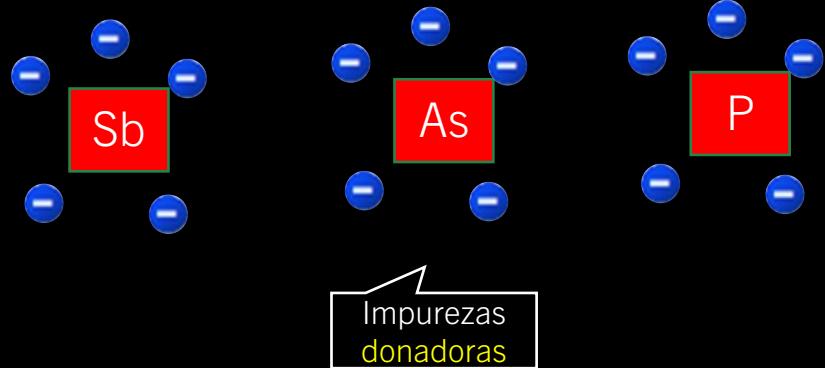
# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



Silicio a 300 K

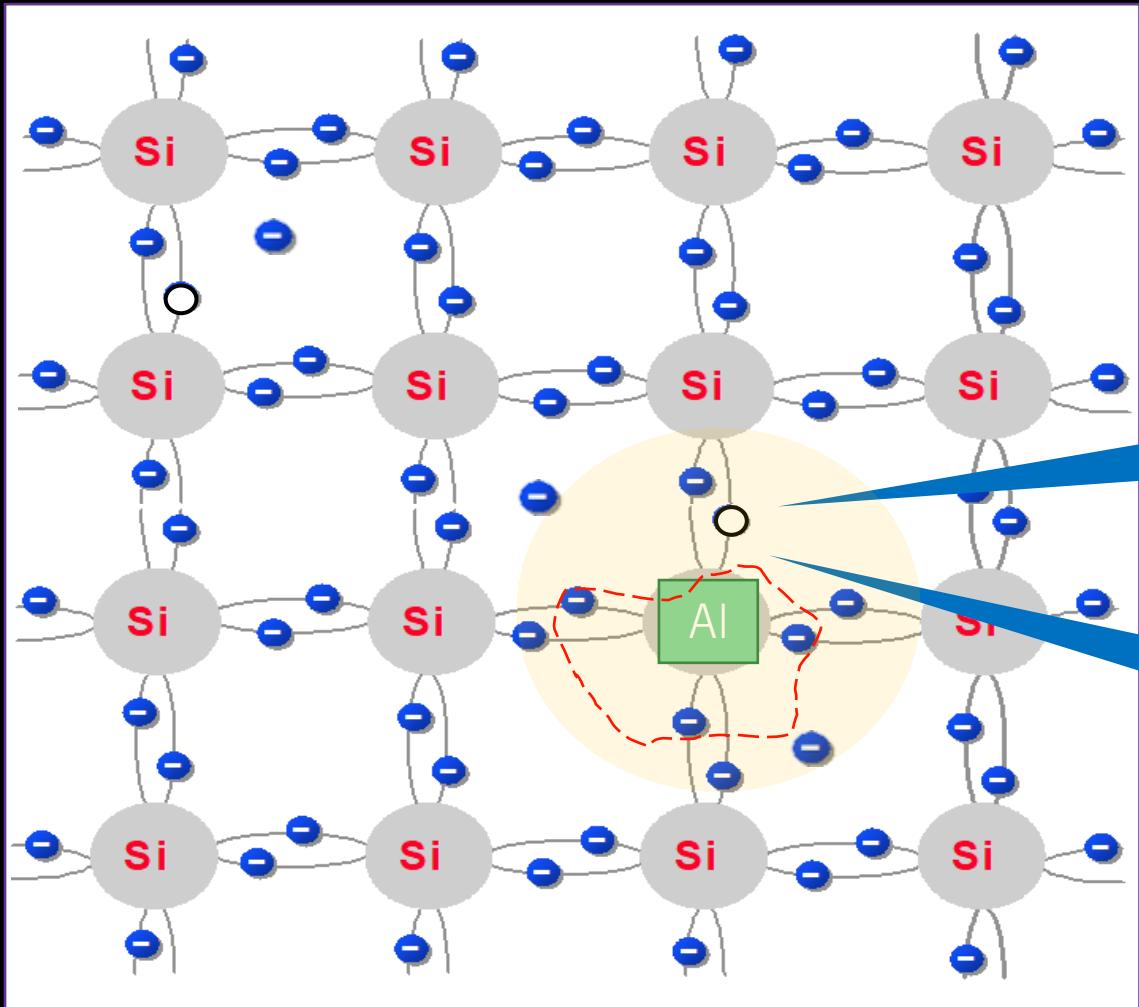
Red bidimensional

## SEMICONDUCTOR TIPO N



- Los electrones se denominan PORTADORES MAYORITARIOS
- Los huecos se denominan PORTADORES MINORITARIOS
- Las impurezas introducidas se denominan IMPUREZAS DONADORAS
- A temperatura ambiente todas las impurezas se ionizan.
- La corriente eléctrica se realiza básicamente por electrones, aunque también hay huecos generados térmicamente como parejas e-h.
- El material es eléctricamente neutro.

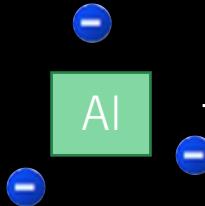
# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



Silicio a 0 K

Red bidimensional

Impureza  
aceptora



El aluminio  
tiene 3  
electrones de  
valencia

También podemos  
dopar con elementos  
de valencia 3

Un enlace del Al con el Si  
carece de un electrón, lo  
representamos por un hueco.

Impureza  
Aceptora

Grupo 13  
(antiguo grupo III)



Aluminio

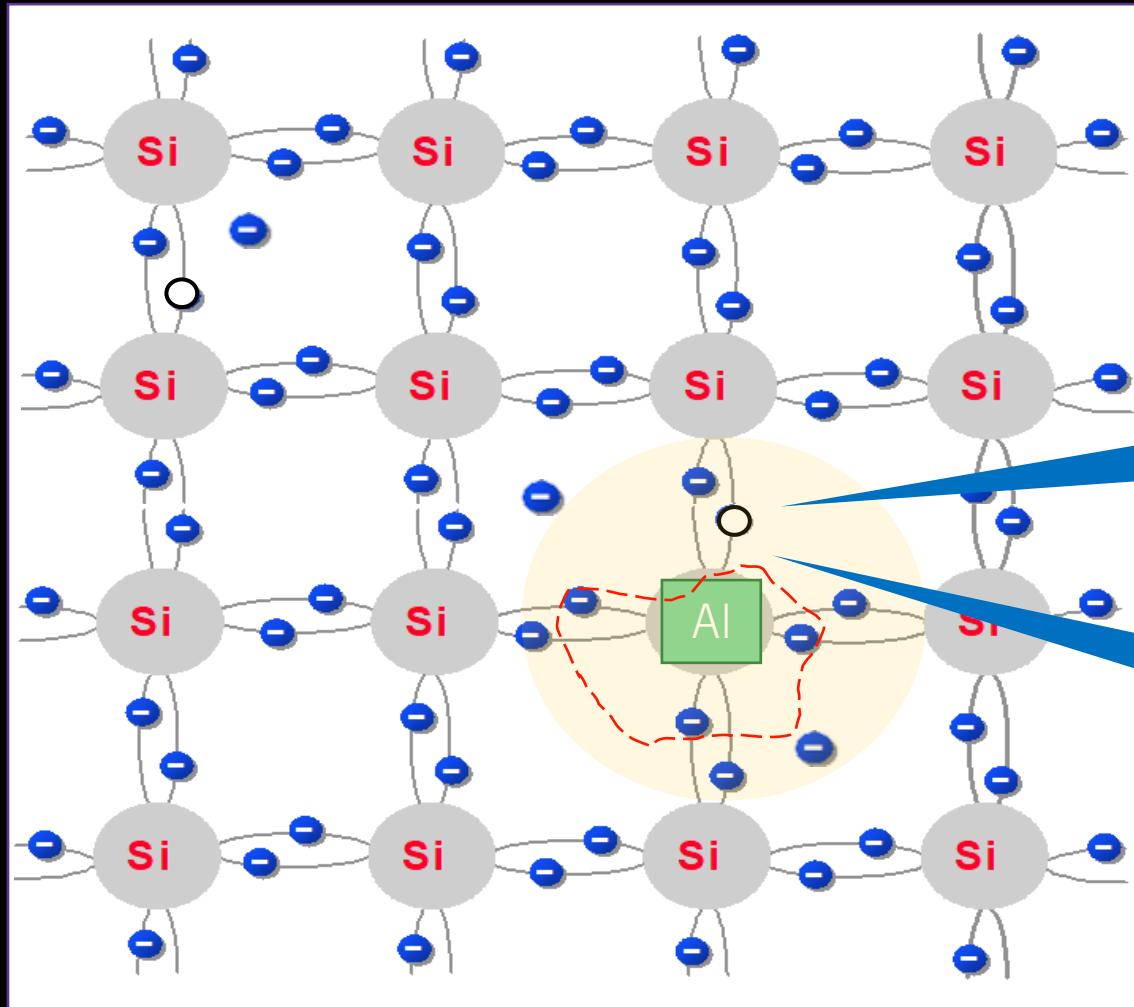


Boro



Indio

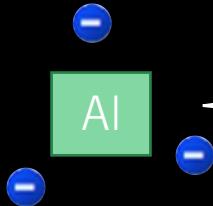
# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



Silicio a 0 K

Red bidimensional

Impureza  
aceptora



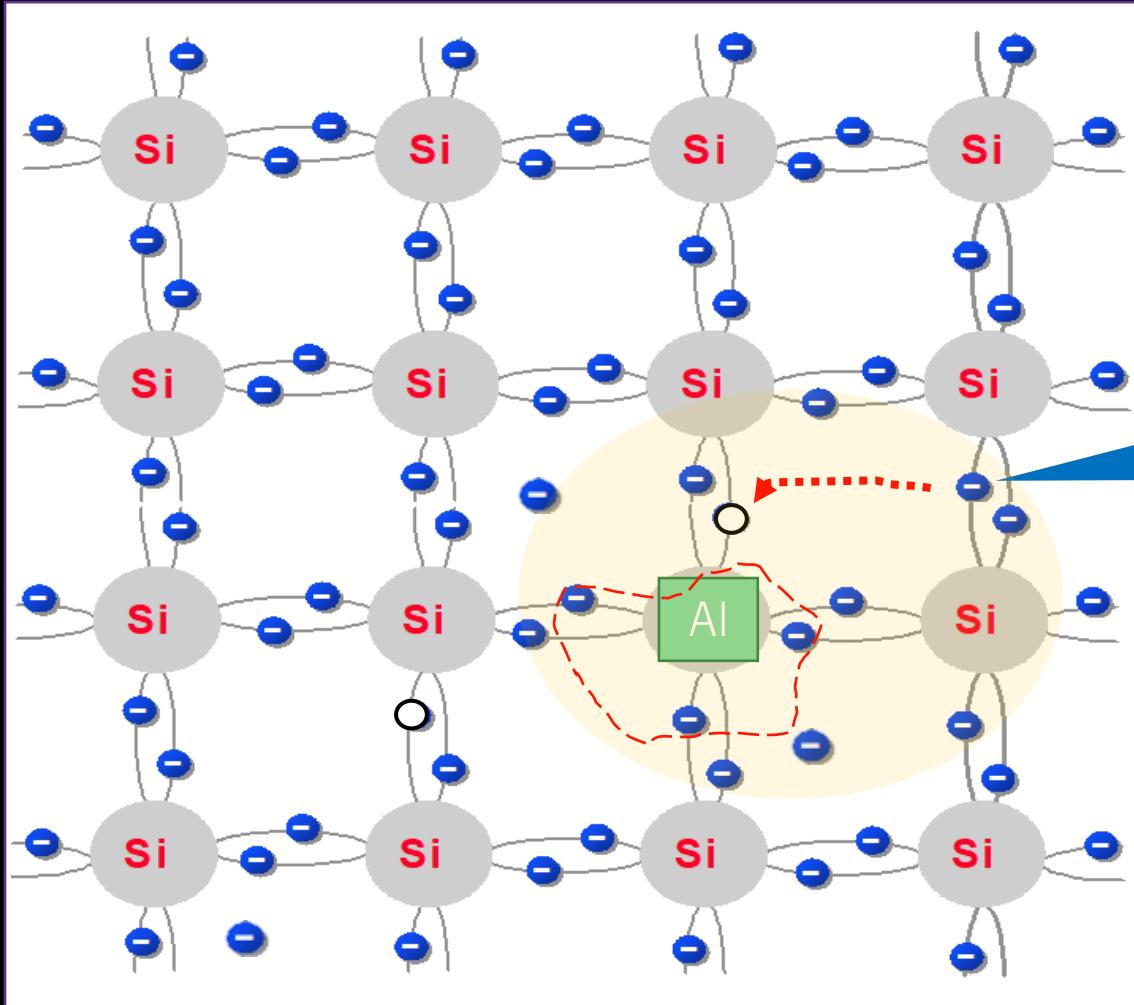
El aluminio  
tiene 3  
electrones de  
valencia

También podemos  
dopar con elementos  
de valencia 3

Un enlace del Al con el Si  
carece de un electrón, lo  
representamos por un hueco.

SEMICONDUCTOR  
TIPO P

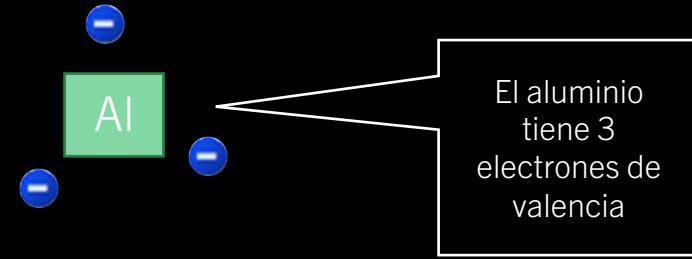
# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



Silicio a 300 K

Red bidimensional

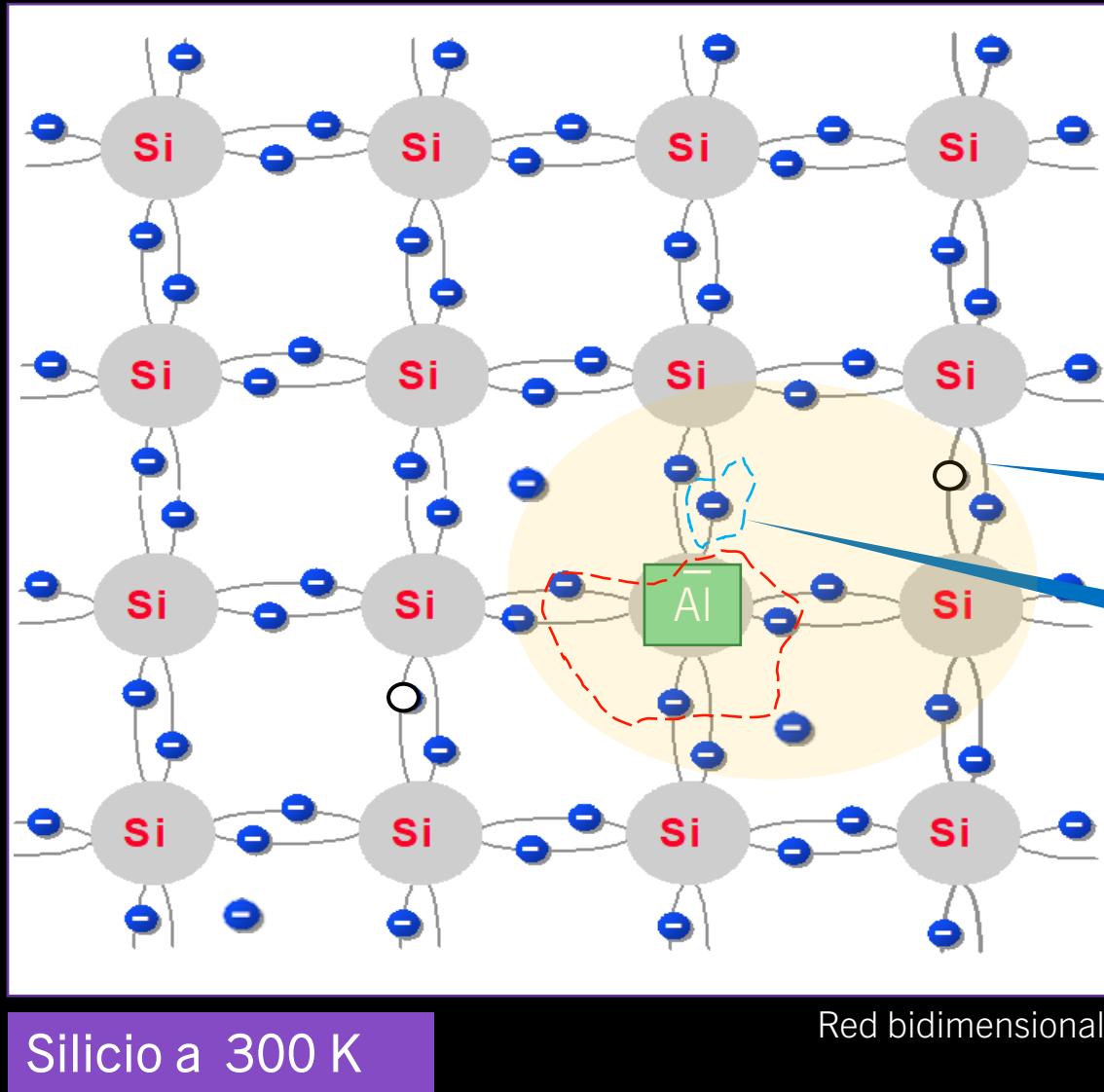
SEMICONDUCTOR  
TIPO P



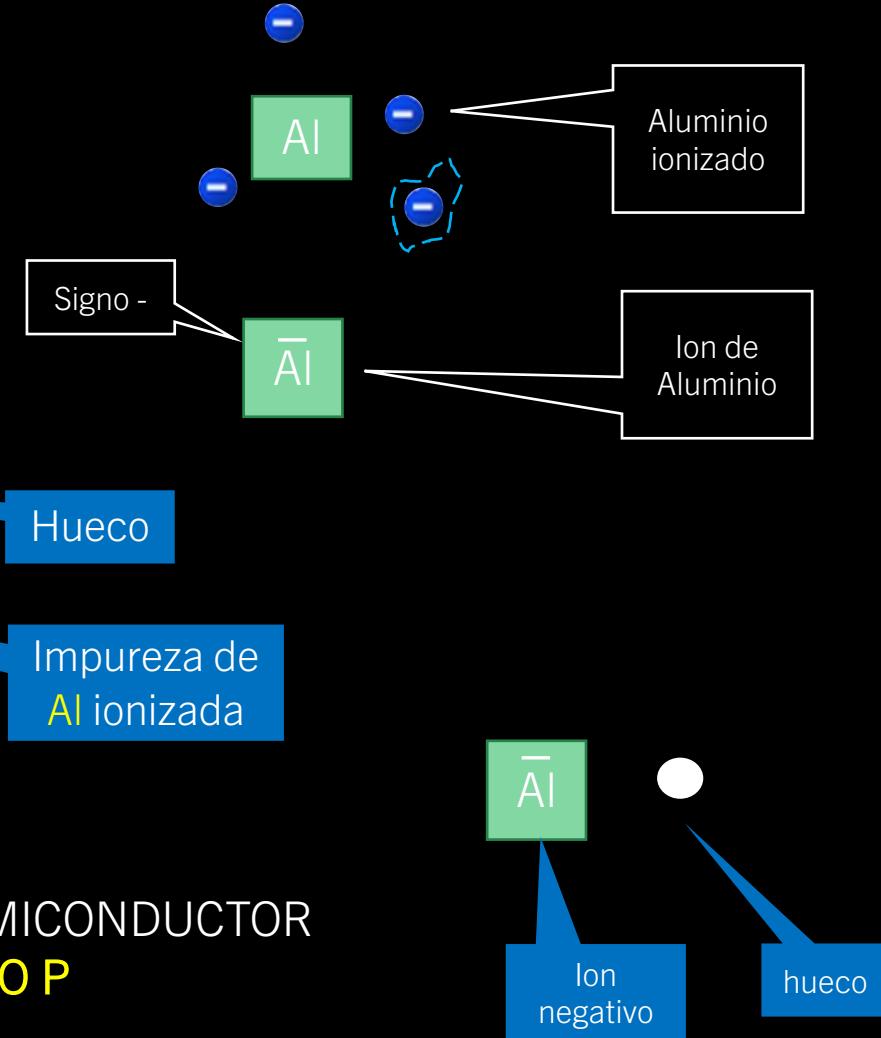
A temperatura ambiente el hueco puede ser ocupado por un electrón de otro átomo y la impureza se ioniza (ion negativo).

El hueco se desplaza al otro átomo.

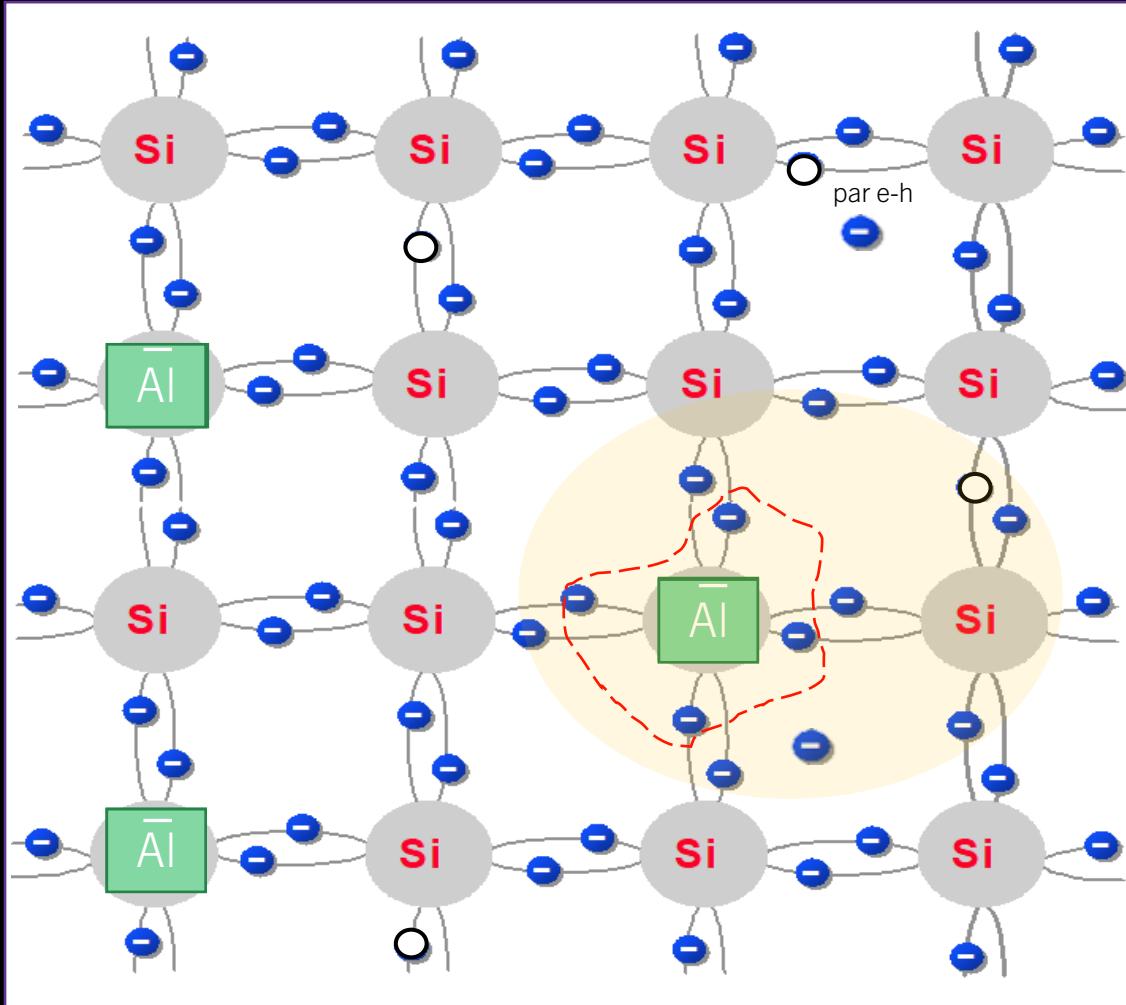
# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



SEMICONDUCTOR  
TIPO P



# MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO

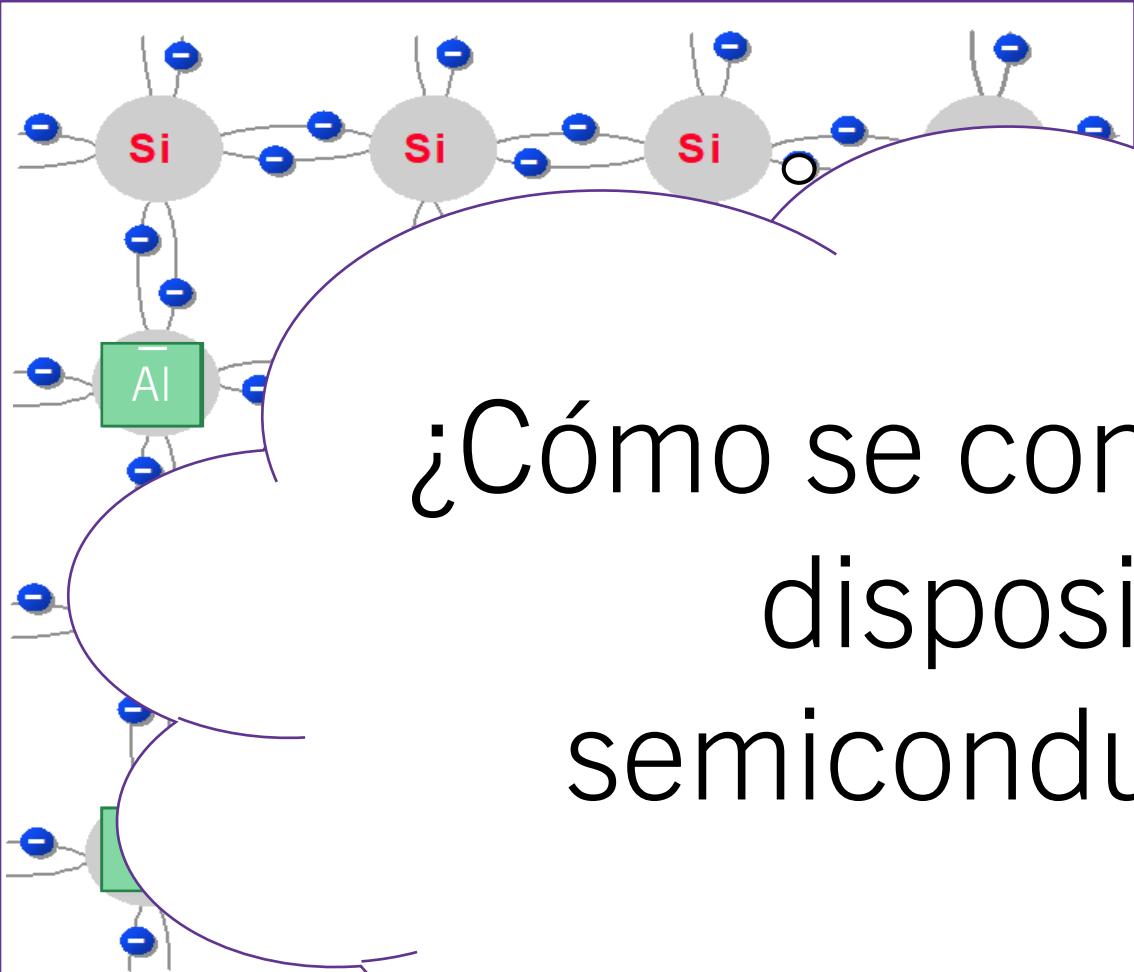


Silicio a 300 K

## SEMICONDUCTOR TIPO P

- Los huecos se denominan PORTADORES MAYORITARIOS
- Los electrones se denominan PORTADORES MINORITARIOS
- Las impurezas introducidas se denominan IMPUREZAS ACEPTORAS
- A temperatura ambiente todas las impurezas se consideran ionizadas.
- La corriente eléctrica se realiza básicamente por huecos, aunque también hay electrones libres generados térmicamente como parejas e-h.
- El material es eléctricamente neutro.

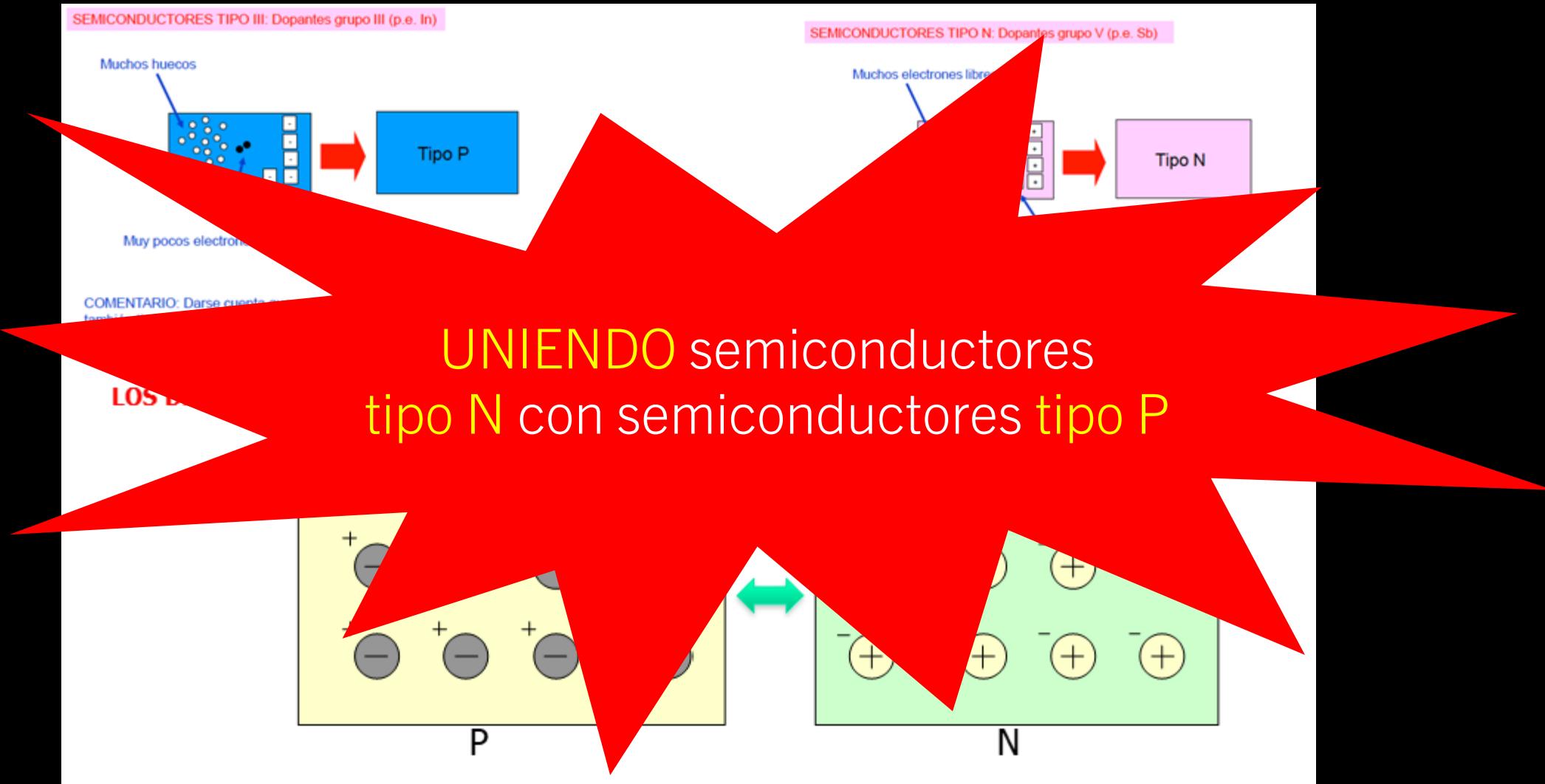
## MODELO DE ENLACE COVALENTE: SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO



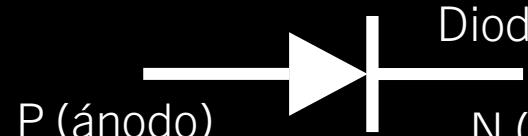
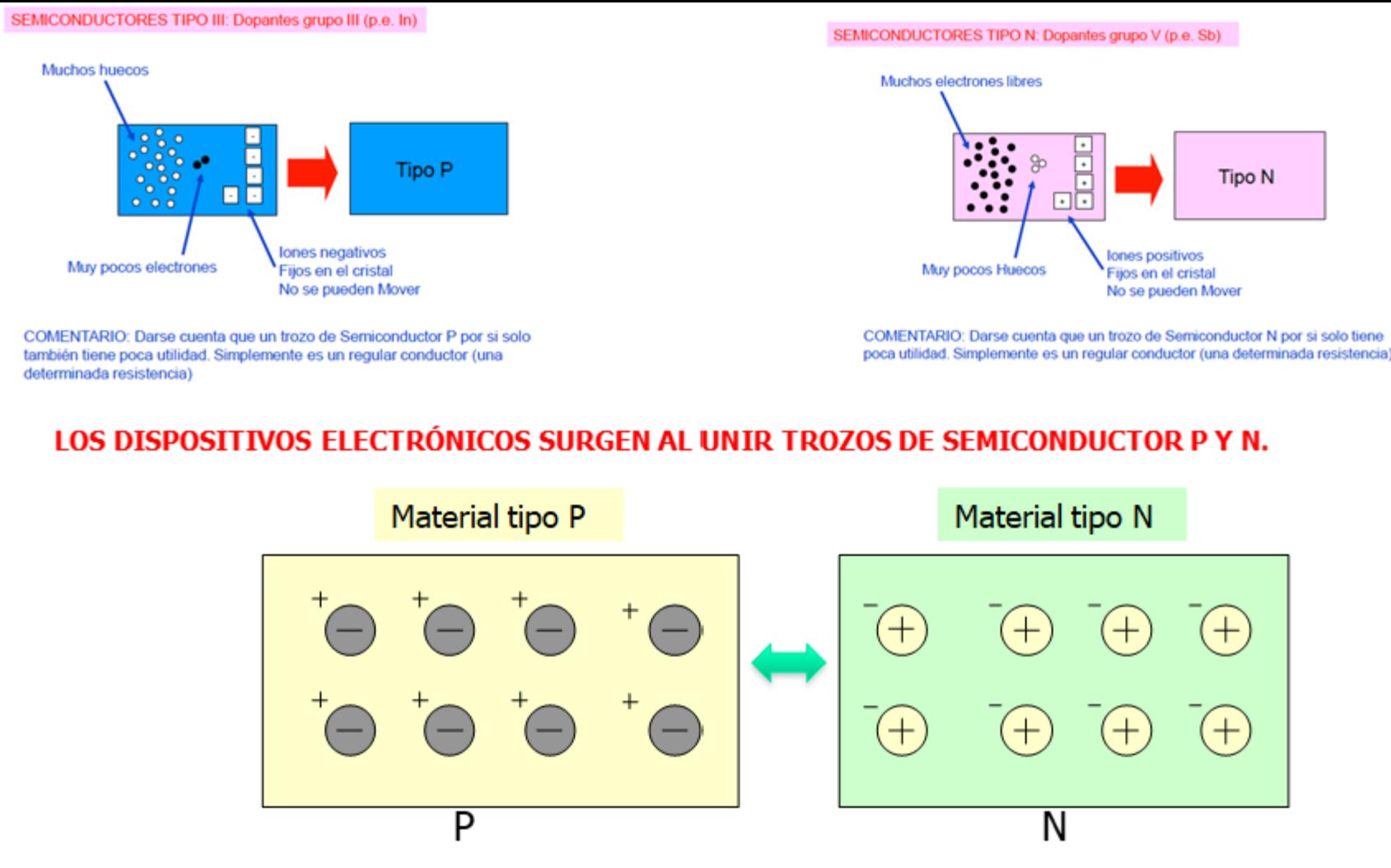
Silicio a 300 K

¿Cómo se construyen los  
dispositivos  
semiconductores ?

# DIODO DE UNION PN



# DIODO DE UNION PN

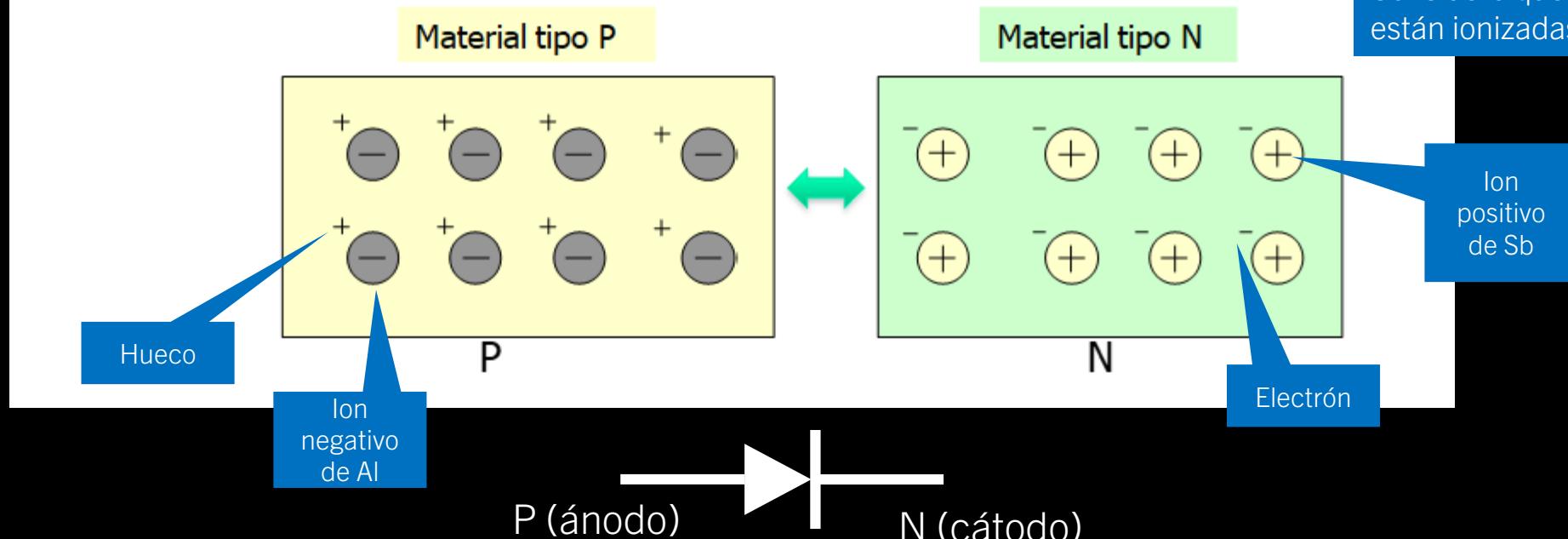


N (cátodo)

# DIODO DE UNION PN



**LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS SURGEN AL UNIR TROZOS DE SEMICONDUCTOR P Y N.**



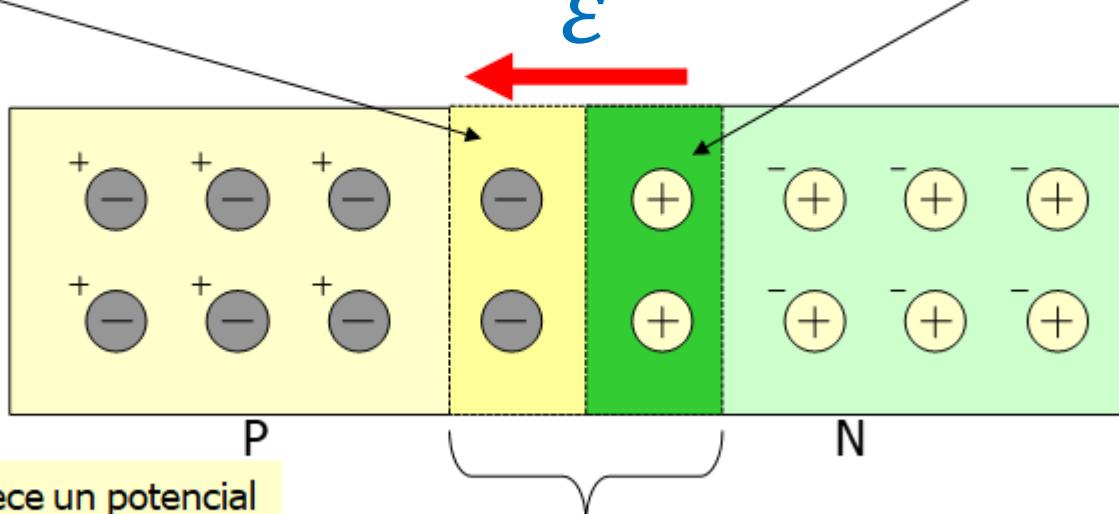
# DIODO DE UNION PN

2  
La pérdida de huecos crea una zona con carga negativa fija en la red.

3  
Aparece un campo eléctrico en la zona de contacto (deplexión) debido a las dos zonas de carga opuesta

La pérdida de electrones crea una zona con carga positiva fija en la red

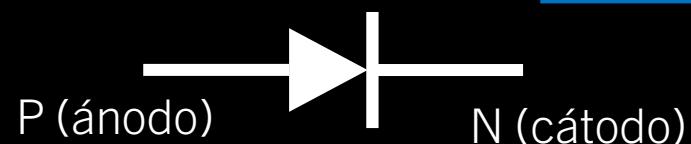
Diferente de concentración de cargas



4  
Aparece un potencial llamado potencial de contacto o de barrera  $V_T$ .

Zona de deplexión

No hay cargas libres, solo iones fijos



- 1
- Por difusión los e<sup>-</sup> de la zona N pasan a la zona P y los huecos de la zona P pasan a la zona N.
  - Cerca de la unión aparecen átomos que han perdido el electrón o el hueco que hacían que fueran neutros (pasan a ser iones positivos en la zona N y negativos en la zona P)
  - Aparece una zona con carga fija en la red por lo que se crea un campo eléctrico.
  - El campo eléctrico da lugar a una d.d.p. que se opone a que los e<sup>-</sup> de la zona N pasen a la zona P y los huecos de la zona P pasen a la zona N. Esta d.d.p. supone una barrera de potencial.

diferencia de potencial

La pérdida de huecos crea una zona con carga negativa en la red.

Aparece un campo eléctrico en la zona N.

La pérdida de

huecos crea

# ¿Qué ocurre si polarizo externamente la unión?

Aparece un voltaje llamado potencial de contacto o de barrera  $V_T$ .

Zona de

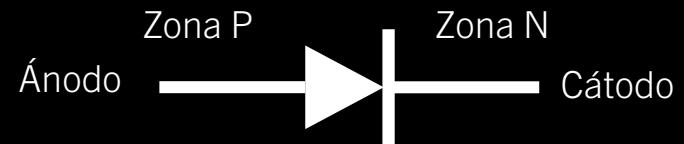
a zona P y N.

que han perdido que fueran neutros en la zona N y negativos

con carga fija en la red por lo que eléctrico.

eléctrico da lugar a una d.d.p. que se opone a que los  $e^-$  de la zona N pasen a la zona P y los huecos de la zona P pasen a la zona N. Esta d.d.p. supone una **barrera de potencial**.

## DIODO DE UNION PN



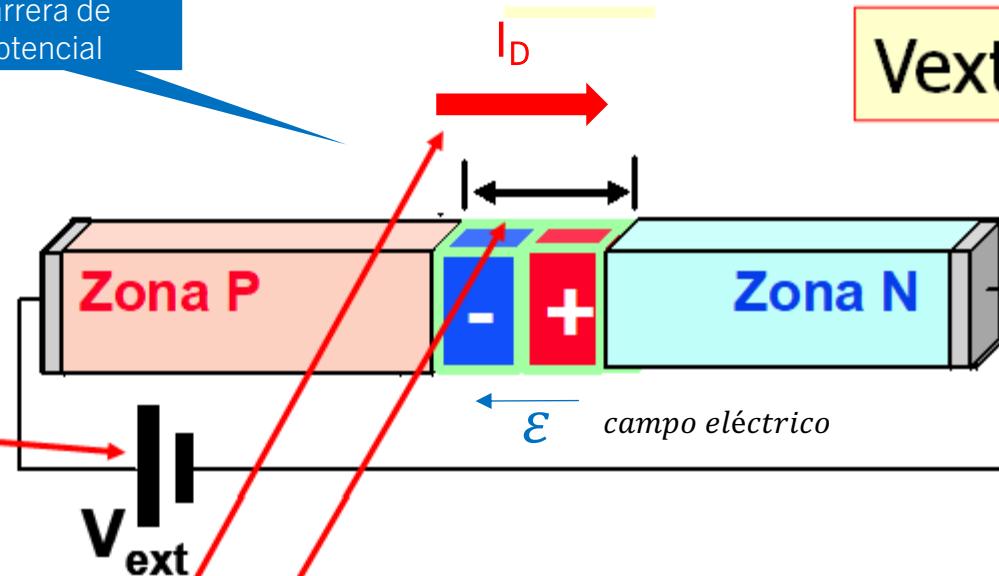
## POLARIZACIÓN DIRECTA

1

Si aplicamos una  $V_{ext}$  más positiva en P que en N

Se reduce la barrera de potencial

$$V_{ext} > V_T$$



2

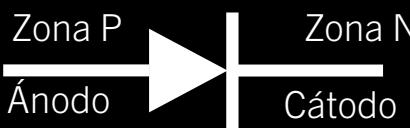
•Zona de deplexión más estrecha.

3

•Se produce una gran corriente de portadores mayoritarios (huecos de P a N y e^- de N a P)

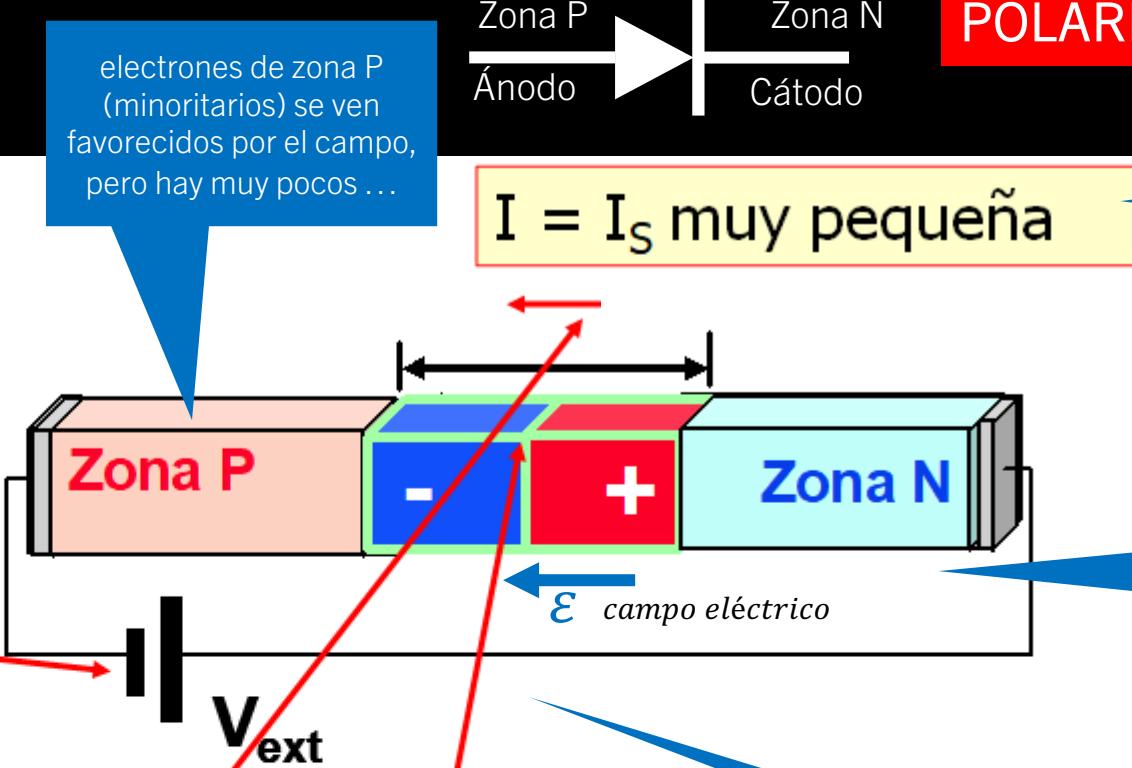
Con polarización directa y  $V_{ext} > V_T$  se produce una corriente  $I_D$  que depende de la tensión exterior  $V_{ext}$ .

## DIODO DE UNION PN



## POLARIZACIÓN INVERSA

1  
Si aplicamos una  $V_{ext}$  más positiva en N que en P



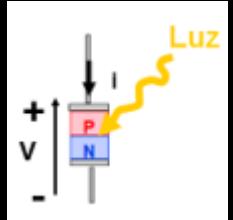
- 2 • Zona de deplexión más ancha.
- 3 • Se produce una corriente muy pequeña de portadores minoritarios (huecos de N a P y e<sup>-</sup> de P a N)

Se incrementa la barrera de potencial

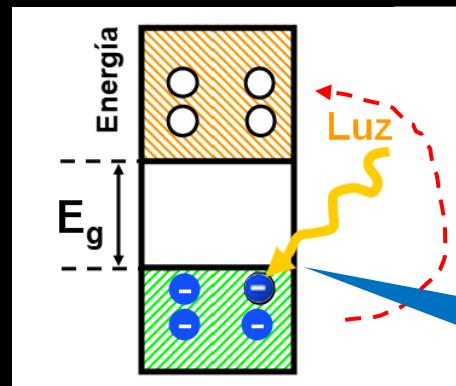
- Con polarización inversa se produce una corriente **muy pequeña** llamada corriente inversa de saturación  $I_s$  que depende casi exclusivamente de la temperatura.

# EFEKTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## FOTODIODOS



Diodo sensible a la luz

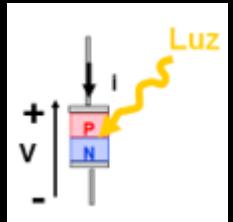


- Sensible a la luz: **fotodiodos**
- Emisión de luz: **LED (Light Emitter Diode)**

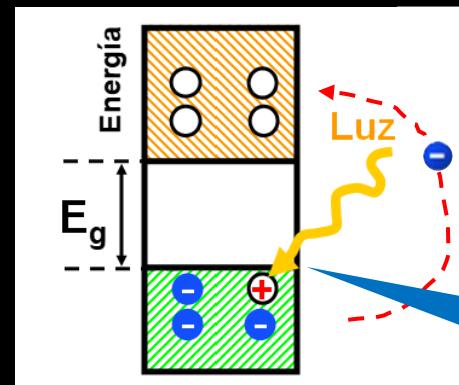
Un fotón de luz comunica energía a un electrón de la BV y salta a la BC. Se aumenta la conductividad del material por efecto de los fotones de luz.

# EFEKTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## FOTODIODOS



Diodo sensible a la luz



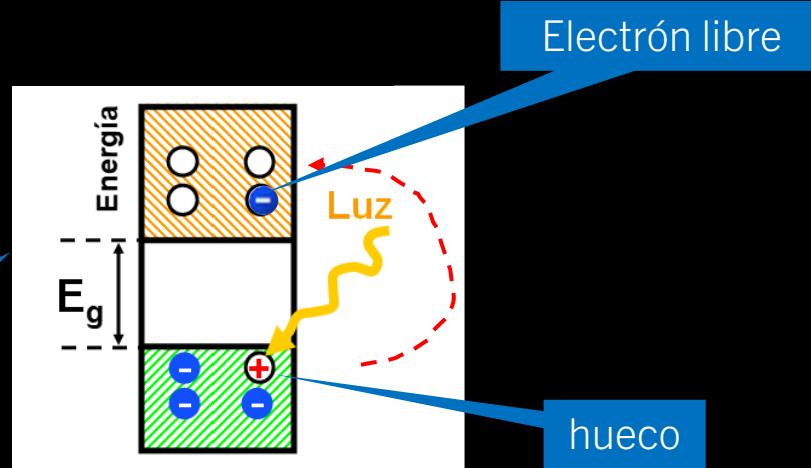
- Sensible a la luz: **fotodiodos**
- Emisión de luz: **LED** (Light Emitter Diode)

Un fotón de luz comunica energía a un electrón de la BV y salta a la BC. Se aumenta la conductividad del material por efecto de los fotones de luz.

# EFEKTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## FOTODIODOS

Se aumenta la conductividad del material por efecto óptico.

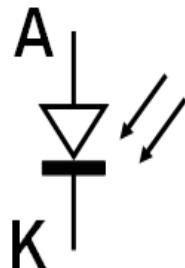


**Generación de par electrón - hueco**

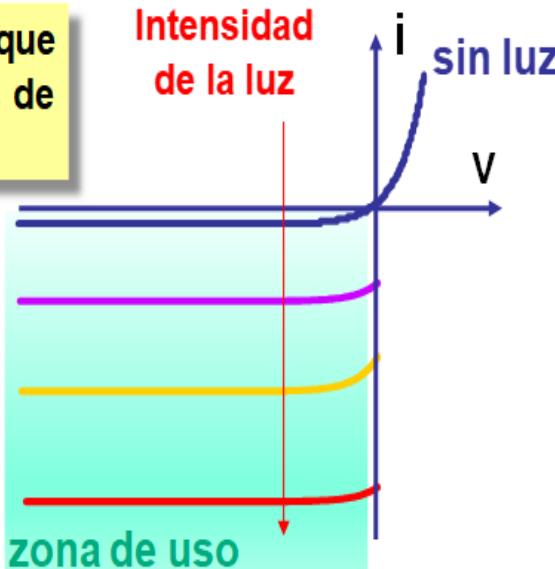
# EFFECTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## FOTODIODOS

Funcionan en la zona inversa. La luz que incide en la unión PN produce rupturas de enlaces covalentes.

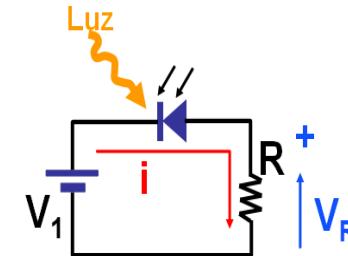


Símbolo



Los portadores minoritarios aumentan con la intensidad de la luz por lo que la corriente inversa también aumenta.

Se utilizan como fotodetectores, convierten la luz en una magnitud eléctrica.

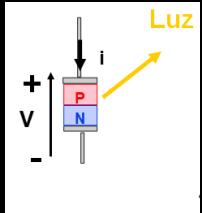


A mayor cantidad de luz, mayor corriente inversa y mayor tensión en R

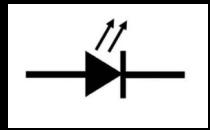


# EFEKTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## DIODO LED (Light Emitter Diode)



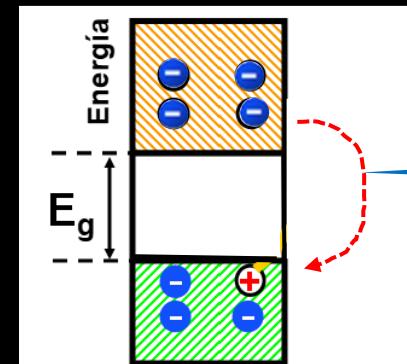
Diodo emisor de luz



Símbolo eléctrico



Diodo LED Rojo



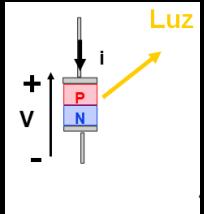
Recombinación

Los diodos LED se basan en el proceso de recombinación de e-h.

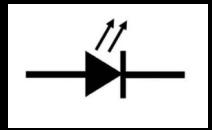
Durante la recombinación se puede emitir energía en forma de fotones de longitud de onda dentro o no del espectro visible

# EFEKTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## LED (Light Emitter Diode)



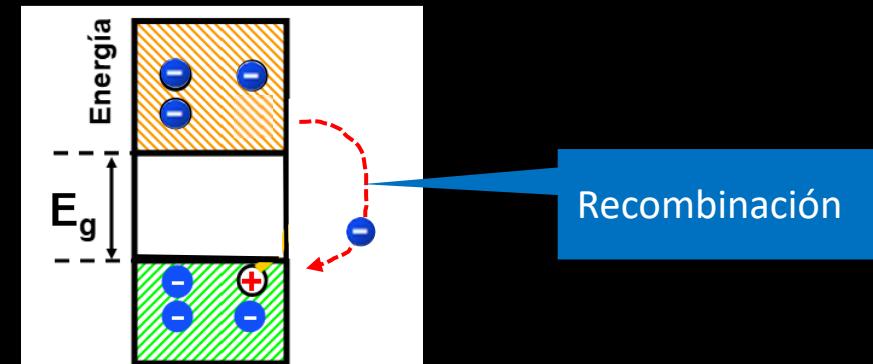
Diodo emisor de luz



Símbolo eléctrico

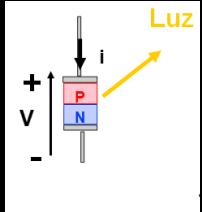


Diodo LED Rojo

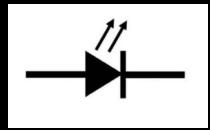


# EFEKTOS ÓPTICOS DE LA UNIÓN PN

## LED (Light Emitter Diode)



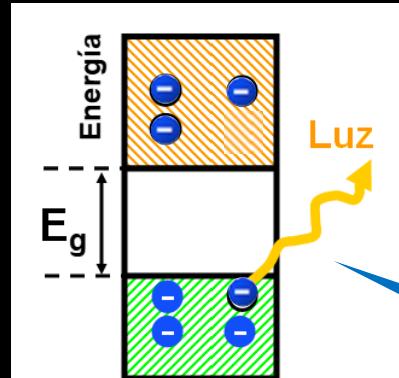
Diodo emisor de luz



Símbolo eléctrico



Diodo LED Rojo



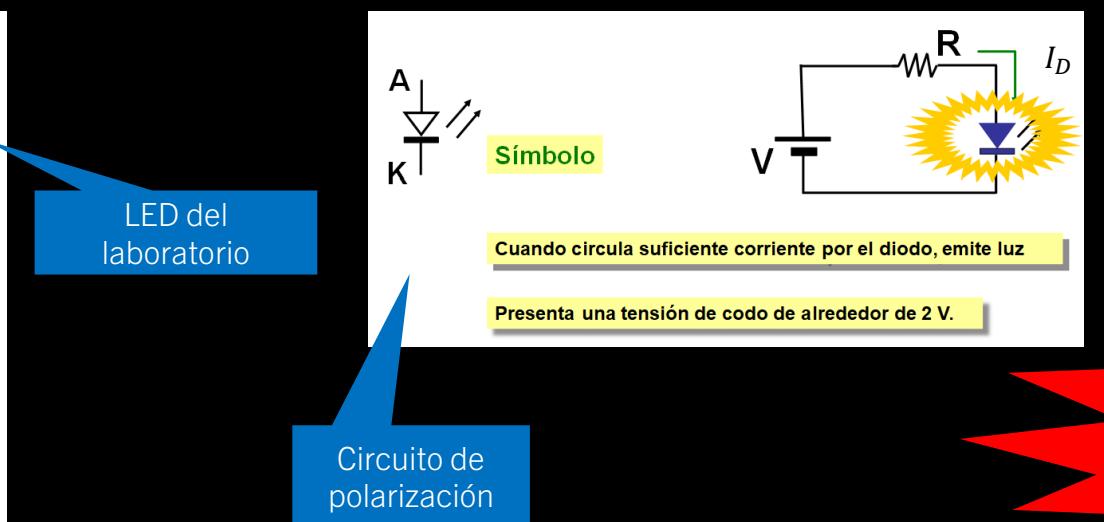
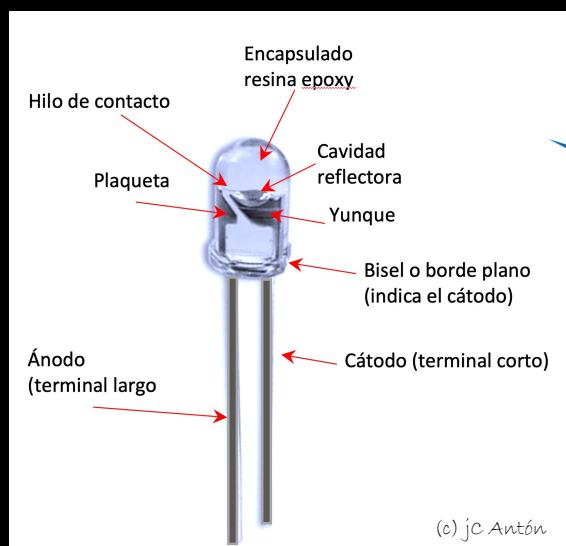
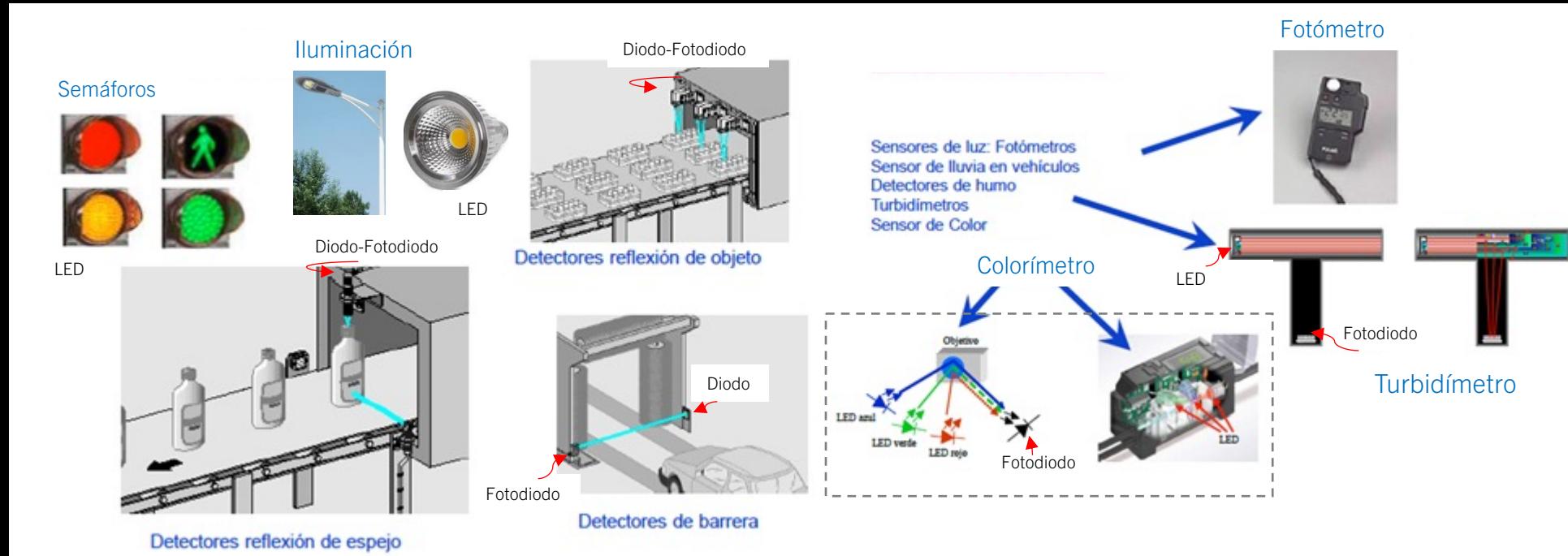
Recombinación

Desaparece el electrón y el  
hueco, y se libera radiación  
electromagnética

El color  
depende del  
material  
semiconductor

Color	Longitud de Onda [nm]	Diferencia de potencial [ $\Delta V$ ]	Material semiconductor
Radiación infrarroja $\lambda > 760$		$\Delta V < 1.63$	Arseniu de Galio (GaAs) Arseniu de galio-aluminio (AlGaAs)
Rojo	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Arseniu de galio-aluminio (AlGaAs) Fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaNp) Fosfato de galio (GaP)
Naranja	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaNp) Fosfato de galio (GaP)
Amarillo	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaNp) Fosfato de galio (GaP)
Verde	$500 < \lambda < 570$	$1.9^{73} < \Delta V < 4.0$	Verde clásico: Fosfato de galio (GaP) Fosfuro de aluminio-galio-indio (AlGaNp) Fosfuro de galio-aluminio (AlGaP) Verde puro: Nitruro de galio-indio (InGaN) / Nitruro de galio (GaN)

# APLICACIONES DE DIODOS LED Y FOTODIODOS

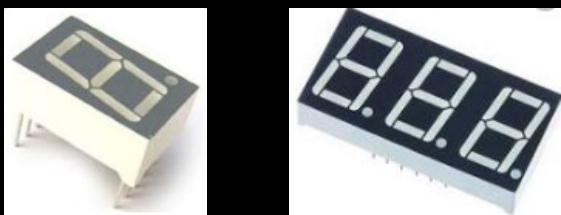
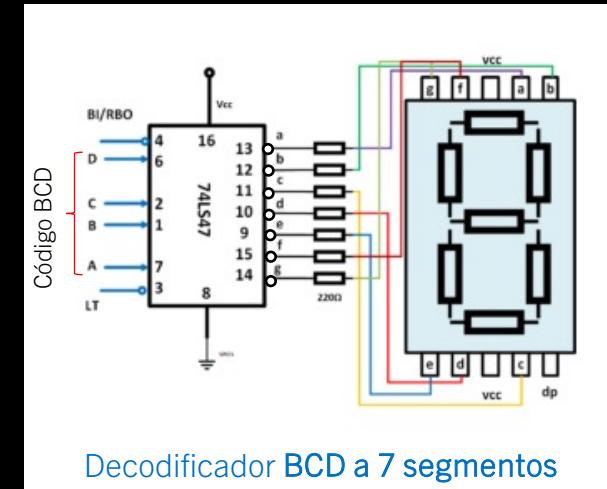
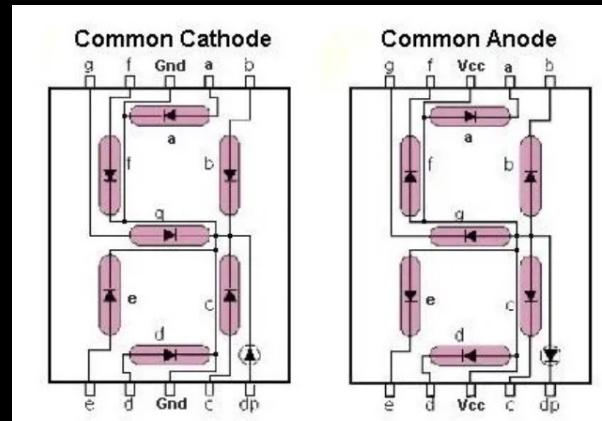
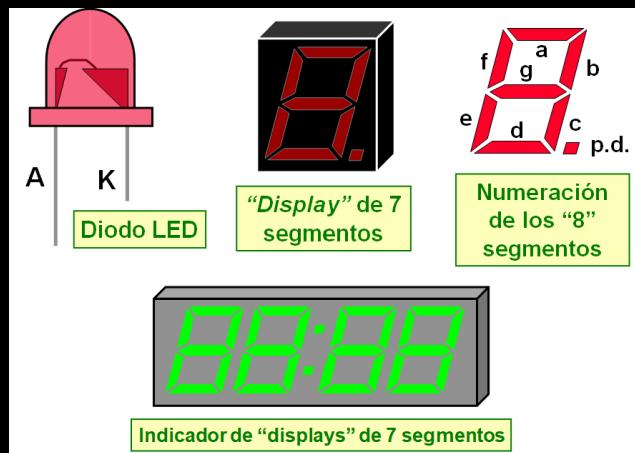


**LED se polarizan en directa**

Resistencia para limitar la corriente

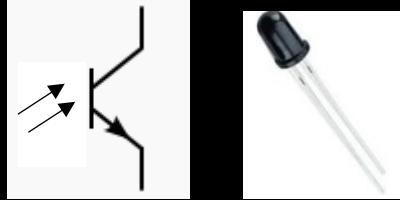
# APLICACIONES DE DIODOS LED

## DISPLAY 7 SEGMENTOS

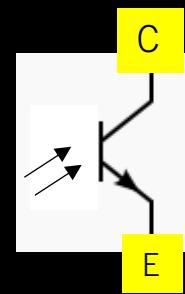
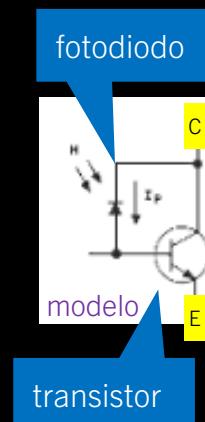


# OTROS DISPOSITIVOS ÓPTICOS

## FOTOTRANSISTOR



Transistor sensible a la luz. La luz incide sobre la región de base y genera portadores en ella. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por la ganancia en corriente del transistor.

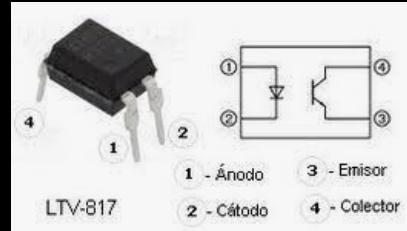
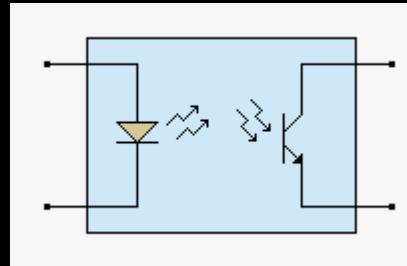


Se comporta como un interruptor entre los terminales



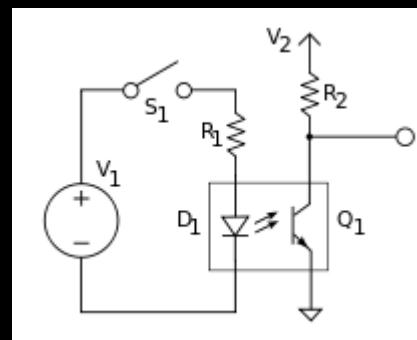
Si incide luz sobre el dispositivo se cierra el interruptor, si no incide, se abre

## OPTOACOPLADOR



Un opto-acoplador combina un diodo LED y un fototransistor. El dispositivo funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por el diodo led. Si el LED emite luz, satura (cortocircuita) el fototransistor. Se utiliza para aislar eléctricamente dos circuitos pues la conexión entre ambos es óptica.

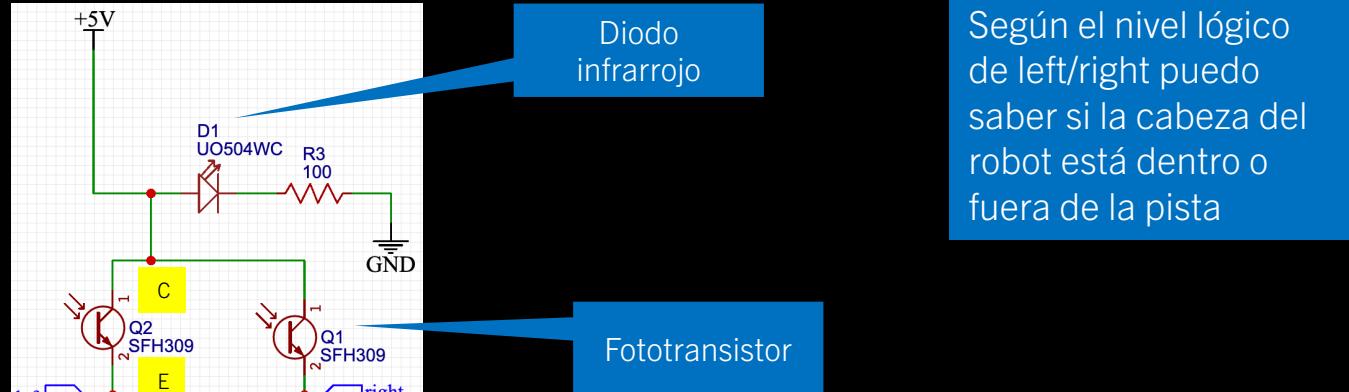
Circuito con optoacoplador



Se encapsula como un circuito integrado DIP (*Dual Inline Package*)

# DISPOSITIVOS ÓPTICOS DEL ROBOT

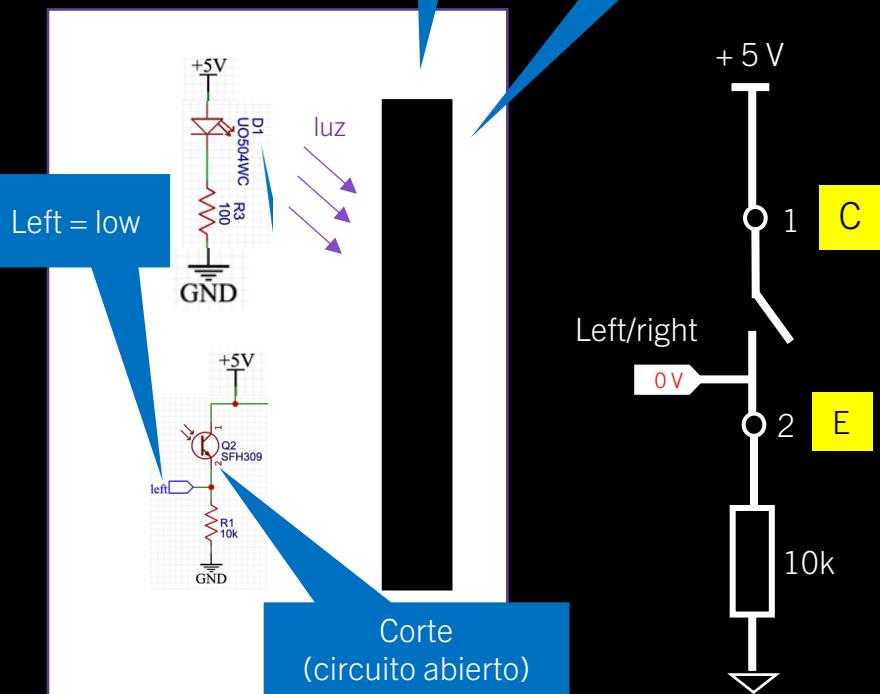
Esquema eléctrico del detector de pista del robot.  
El circuito consta de un diodo LED y dos fototransistores



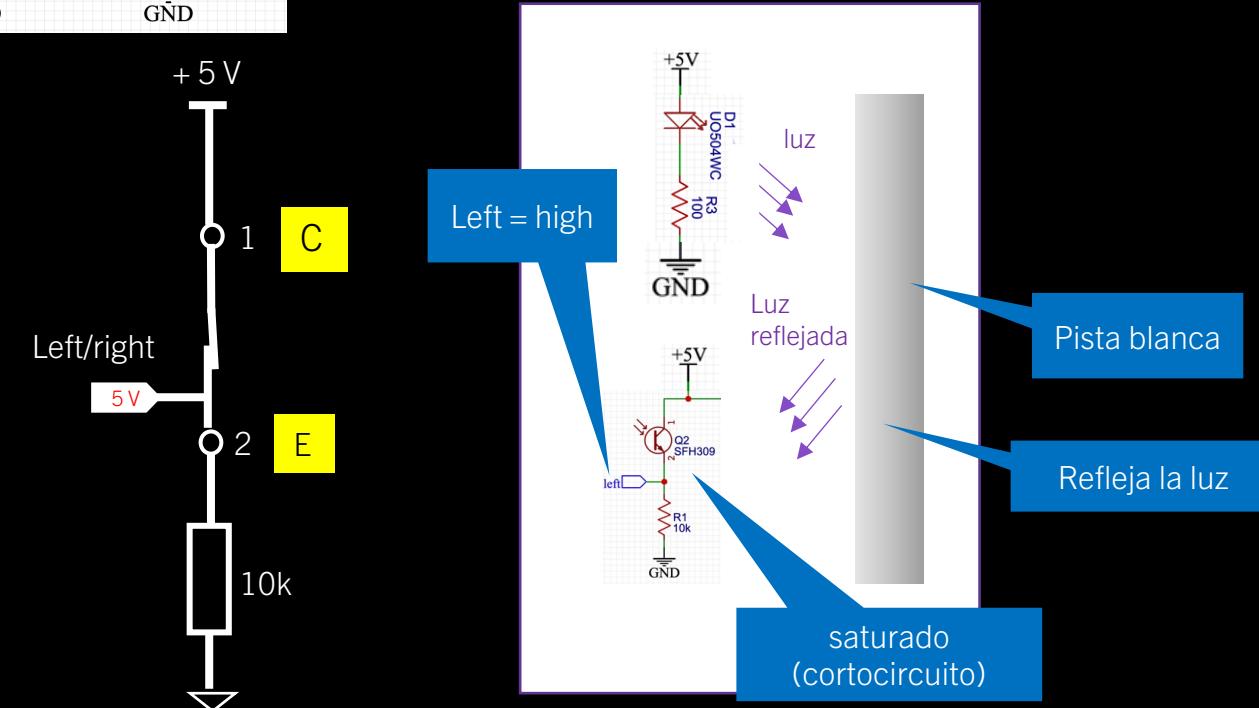
Según el nivel lógico de left/right puedo saber si la cabeza del robot está dentro o fuera de la pista



Robot Dentro de pista



Robot Fuera de pista



saturado (cortocircuito)

# PREGUNTAS DE REPASO

---

Universidad de Oviedo

1. ¿Cuál es el semiconductor más común?
  - (a) Germanio
  - (b) Silicio
  - (c) Indio
  - (d) Ninguna de las anteriores
2. Los huecos actúan como...
  - (a) Cargas negativas
  - (b) Iones negativos
  - (c) Carga positiva
  - (d) Ninguna de las anteriores
3. Para obtener un semiconductor de tipo N ¿qué tipo de impureza usarías?
  - (a) Impurezas aceptoras
  - (b) Átomos de aluminio
  - (c) Impurezas pentavalentes
  - (d) Ninguna de las anteriores
4. ¿Qué tipo de impureza utilizarías para obtener un material de tipo P?
  - (a) Aluminio
  - (b) Arsénico
  - (c) Antimonio
  - (d) Fósforo
  - (e) Ninguna de las anteriores
5. ¿Qué tipo de impureza utilizarías para obtener un material de tipo N?
  - (a) Aluminio
  - (b) Arsénico
  - (c) Indio
  - (d) Boro
  - (e) Ninguna de las anteriores
6. ¿Qué tipo de portador es mayoritario en un semiconductor de tipo N?
  - (a) electrones
  - (b) huecos
  - (c) Iones positivos
  - (d) Iones negativos
  - (e) Ninguna de las anteriores
7. ¿Qué tipo de portador es el minoritario en un semiconductor de tipo P?
  - (a) electrones
  - (b) huecos
  - (c) Iones positivos
  - (d) Iones negativos
  - (e) Ninguna de las anteriores
8. Para obtener un semiconductor de tipo P ¿qué tipo de impureza usarías?
  - (a) Impurezas aceptoras
  - (b) Átomos de antimonio
  - (c) Impurezas pentavalentes
  - (d) Ninguna de las anteriores
9. ¿En qué fenómeno se basan los diodos LED?
  - (a) Dopado selectivo
  - (b) Recombinación de portadores
  - (c) Generación de parejas electrón-hueco
  - (d) Ninguna de las anteriores
10. ¿Qué es la región de vaciamiento en un diodo?
  - (a) Zona libre de cargas en las proximidades de la unión
  - (b) Zona con cargas en las proximidades de la unión
  - (c) Zona sin dopar en las proximidades de la unión
  - (d) Ninguna de las anteriores

11. ¿Por qué existe la tensión de codo en un diodo?

- (a) Debe superarse la barrera de potencial que se forma en la unión
- (b) Al perder el dispositivo la neutralidad eléctrica
- (c) Por la baja movilidad de las cargas en directa
- (d) Ninguna de las anteriores

12. ¿Qué fenómeno predomina en el funcionamiento de un fotodiodo?

- (a) Recombinación de portadores
- (b) Desplazamiento de cargas en directa
- (c) Generación de parejas electrón-hueco por efecto de la luz
- (d) Ninguna de las anteriores

13. ¿Cuál es la zona de trabajo habitual de un fotodiodo?

- (a) directa
- (b) inversa
- (c) zona de ruptura
- (d) Ninguna de las anteriores

14. ¿Qué es un semiconductor intrínseco?

- (a) Semiconductor con dopado bajo
- (b) Semiconductor muy dopado
- (c) Semiconductor de tipo P o N
- (d) Semiconductor puro
- (e) Ninguna de las anteriores

15. ¿Qué es un semiconductor extrínseco?

- (a) Semiconductor de valencia 5
- (b) Semiconductor de valencia 3
- (c) Semiconductor dopado
- (d) Semiconductor puro
- (e) Ninguna de las anteriores

16. La corriente inversa en un diodo de unión PN es una corriente de

- (a) Solo huecos
- (b) Solo electrones
- (c) Portadores mayoritarios de cada lado de la unión
- (d) Portadores minoritarios de cada lado de la unión
- (e) Ninguna de las anteriores

17. En un diodo polarizado en inversa la zona de deplexión ...

- (a) Se ensancha
- (b) Se estrecha
- (c) Permanece igual
- (d) Ninguna de las anteriores

18. En teoría de bandas, ¿a qué se refiere la banda prohibida?

- (a) Niveles de alta energía
- (b) Niveles de baja energía
- (c) Niveles energéticos que no pueden ser ocupados por electrones
- (d) Niveles energéticos que pueden ser ocupados por electrones
- (e) Ninguna de las anteriores

19. Para que un electrón pase de la banda de valencia a la de conducción debe ...

- (a) Aportarle energía
- (b) Perder energía
- (c) Proporcionarle energía superior al ancho de la banda prohibida
- (d) Emitir un fotón de luz
- (e) Ninguna de las anteriores

20. Para que un electrón pase de la banda de conducción a la de valencia debe ...

- (a) Aportarle energía
- (b) Perder energía
- (c) Proporcionarle energía superior al ancho de la banda prohibida
- (d) Recibir fotones de luz
- (e) Ninguna de las anteriores

21. En un aislante el ancho de la banda prohibida es ...

- (a) Superior a 10 eV
- (b) Muy pequeño
- (c) Sobre 1 eV
- (d) 0 eV

22. En un semiconductor intrínseco , el número de huecos es igual al número de electrones

- (a) verdadero
- (b) falso

23. En un semiconductor extrínseco , el número de huecos es igual al número de electrones

- (a) verdadero
- (b) falso

24. En un semiconductor intrínseco la conducción se produce exclusivamente por huecos

- (a) verdadero
- (b) falso

25. En un semiconductor extrínseco tipo P la conducción se produce fundamentalmente por huecos

- (a) verdadero
- (b) falso

26. ¿Cómo es la conductividad de un semiconductor?

- (a) Muy baja
- (b) Muy alta
- (c) media
- (d) Inferior a la de un aislante
- (e) Ninguna de las anteriores

27. ¿Cómo se denominan a los electrones de la banda de conducción?

- (a) Electrón de valencia
- (b) Hueco libre
- (c) Ion libre
- (d) Electrones libres
- (e) Ninguna de las anteriores

28. En un diodo polarizado en directa la zona de deplexión

- (a) Se ensancha
- (b) Se estrecha
- (c) Permanece igual
- (d) Ninguna de las anteriores

29. La corriente directa en un diodo de unión PN es una corriente de

- (a) huecos
- (b) electrones
- (c) Portadores mayoritarios de cada lado de la unión
- (d) Portadores minoritarios de cada lado de la unión
- (e) Ninguna de las anteriores

30. Un diodo LED debe polarizarse ...

- (a) En directa
- (b) En inversa
- (c) Sin polarizar
- (d) Ninguna de las anteriores

# PREGUNTAS DE REPASO SOLUCIONES

---

Universidad de Oviedo

1. ¿Cuál es el semiconductor más común?
  - (a) Germanio
  - (b) Silicio
  - (c) Indio
  - (d) Ninguna de las anteriores
2. Los huecos actúan como...
  - (a) Cargas negativas
  - (b) Iones negativos
  - (c) Carga positiva
  - (d) Ninguna de las anteriores
3. Para obtener un semiconductor de tipo N ¿qué tipo de impureza usarías?
  - (a) Impurezas aceptoras
  - (b) Átomos de aluminio
  - (c) Impurezas pentavalentes
  - (d) Ninguna de las anteriores
4. ¿Qué tipo de impureza utilizarías para obtener un material de tipo P?
  - (a) Aluminio
  - (b) Arsénico
  - (c) Antimonio
  - (d) Fósforo
  - (e) Ninguna de las anteriores
5. ¿Qué tipo de impureza utilizarías para obtener un material de tipo N?
  - (a) Aluminio
  - (b) Arsénico
  - (c) Indio
  - (d) Boro
  - (e) Ninguna de las anteriores
6. ¿Qué tipo de portador es mayoritario en un semiconductor de tipo N?
  - (a) electrones
  - (b) huecos
  - (c) Iones positivos
  - (d) Iones negativos
  - (e) Ninguna de las anteriores
7. ¿Qué tipo de portador es el minoritario en un semiconductor de tipo P?
  - (a) electrones
  - (b) huecos
  - (c) Iones positivos
  - (d) Iones negativos
  - (e) Ninguna de las anteriores
8. Para obtener un semiconductor de tipo P ¿qué tipo de impureza usarías?
  - (a) Impurezas aceptoras
  - (b) Átomos de antimonio
  - (c) Impurezas pentavalentes
  - (d) Ninguna de las anteriores
9. ¿En qué fenómeno se basan los diodos LED?
  - (a) Dopado
  - (b) Recombinación de portadores
  - (c) Generación de parejas electrón-hueco
  - (d) Ninguna de las anteriores
10. ¿Qué es la región de vaciamiento en un diodo?
  - (a) Zona libre de cargas en las proximidades de la unión
  - (b) Zona con cargas en las proximidades de la unión
  - (c) Zona sin dopar en las proximidades de la unión
  - (d) Ninguna de las anteriores

11. ¿Por qué existe la tensión de codo en un diodo?

- (a) Debe superarse la barrera de potencial que se forma en la unión
- (b) Al perder el dispositivo la neutralidad eléctrica
- (c) Por la baja movilidad de las cargas en directa
- (d) Ninguna de las anteriores

12. ¿Qué fenómeno predomina en el funcionamiento de un fotodiodo?

- (a) Recombinación de portadores
- (b) Desplazamiento de cargas en directa
- (c) Generación de parejas electrón-hueco por efecto de la luz
- (d) Ninguna de las anteriores

13. ¿Cuál es la zona de trabajo habitual de un fotodiodo?

- (a) directa
- (b) inversa
- (c) zona de ruptura
- (d) Ninguna de las anteriores

14. ¿Qué es un semiconductor intrínseco?

- (a) Semiconductor con dopado bajo
- (b) Semiconductor muy dopado
- (c) Semiconductor de tipo P o N
- (d) Semiconductor puro
- (e) Ninguna de las anteriores

15. ¿Qué es un semiconductor extrínseco?

- (a) Semiconductor de valencia 5
- (b) Semiconductor de valencia 3
- (c) Semiconductor dopado
- (d) Semiconductor puro
- (e) Ninguna de las anteriores

16. La corriente inversa en un diodo de unión PN es una corriente de

- (a) Solo huecos
- (b) Solo electrones
- (c) Portadores mayoritarios de cada lado de la unión
- (d) Portadores minoritarios de cada lado de la unión
- (e) Ninguna de las anteriores

17. En un diodo polarizado en inversa la zona de deplexión ...

- (a) Se ensancha
- (b) Se estrecha
- (c) Permanece igual
- (d) Ninguna de las anteriores

18. En teoría de bandas, ¿a qué se refiere la banda prohibida?

- (a) Niveles de alta energía
- (b) Niveles de baja energía
- (c) Niveles energéticos que no pueden ser ocupados por electrones
- (d) Niveles energéticos que pueden ser ocupados por electrones
- (e) Ninguna de las anteriores

19. Para que un electrón pase de la banda de valencia a la de conducción debe ...

- (a) Aportarle energía
- (b) Perder energía
- (c) Proporcionarle energía superior al ancho de la banda prohibida
- (d) Emitir un fotón de luz
- (e) Ninguna de las anteriores

20. Para que un electrón pase de la banda de conducción a la de valencia debe ...

- (a) Aportarle energía
- (b) Perder energía
- (c) Proporcionarle energía superior al ancho de la banda prohibida
- (d) Recibir fotones de luz
- (e) Ninguna de las anteriores

21. En un aislante el ancho de la banda prohibida es ...

- (a) Superior a 10 eV
- (b) Muy pequeño
- (c) Sobre 1 eV
- (d) 0 eV

22. En un semiconductor intrínseco , el número de huecos es igual al número de electrones

- (a) verdadero
- (b) falso

23. En un semiconductor extrínseco , el número de huecos es igual al número de electrones

- (a) verdadero
- (b) falso

24. En un semiconductor intrínseco la conducción se produce exclusivamente por huecos

- (a) verdadero
- (b) Falso

25. En un semiconductor extrínseco tipo P la conducción se produce fundamentalmente por huecos

- (a) verdadero
- (b) falso

26. ¿Cómo es la conductividad de un semiconductor?

- (a) Muy baja
- (b) Muy alta
- (c) media
- (d) Inferior a la de un aislante
- (e) Ninguna de las anteriores

27. ¿Cómo se denominan a los electrones de la banda de conducción?

- (a) Electrón de valencia
- (b) Hueco libre
- (c) Ion libre
- (d) Electrones libres
- (e) Ninguna de las anteriores

28. En un diodo polarizado en directa, la zona de deplexión

- (a) Se ensancha
- (b) Se estrecha
- (c) Permanece igual
- (d) Ninguna de las anteriores

29. La corriente directa en un diodo de unión PN es una corriente de

- (a) huecos
- (b) electrones
- (c) Portadores mayoritarios de cada lado de la unión
- (d) Portadores minoritarios de cada lado de la unión
- (e) Ninguna de las anteriores

30. Un diodo LED debe polarizarse ...

- (a) En directa
- (b) En inversa
- (c) Sin polarizar
- (d) Ninguna de las anteriores