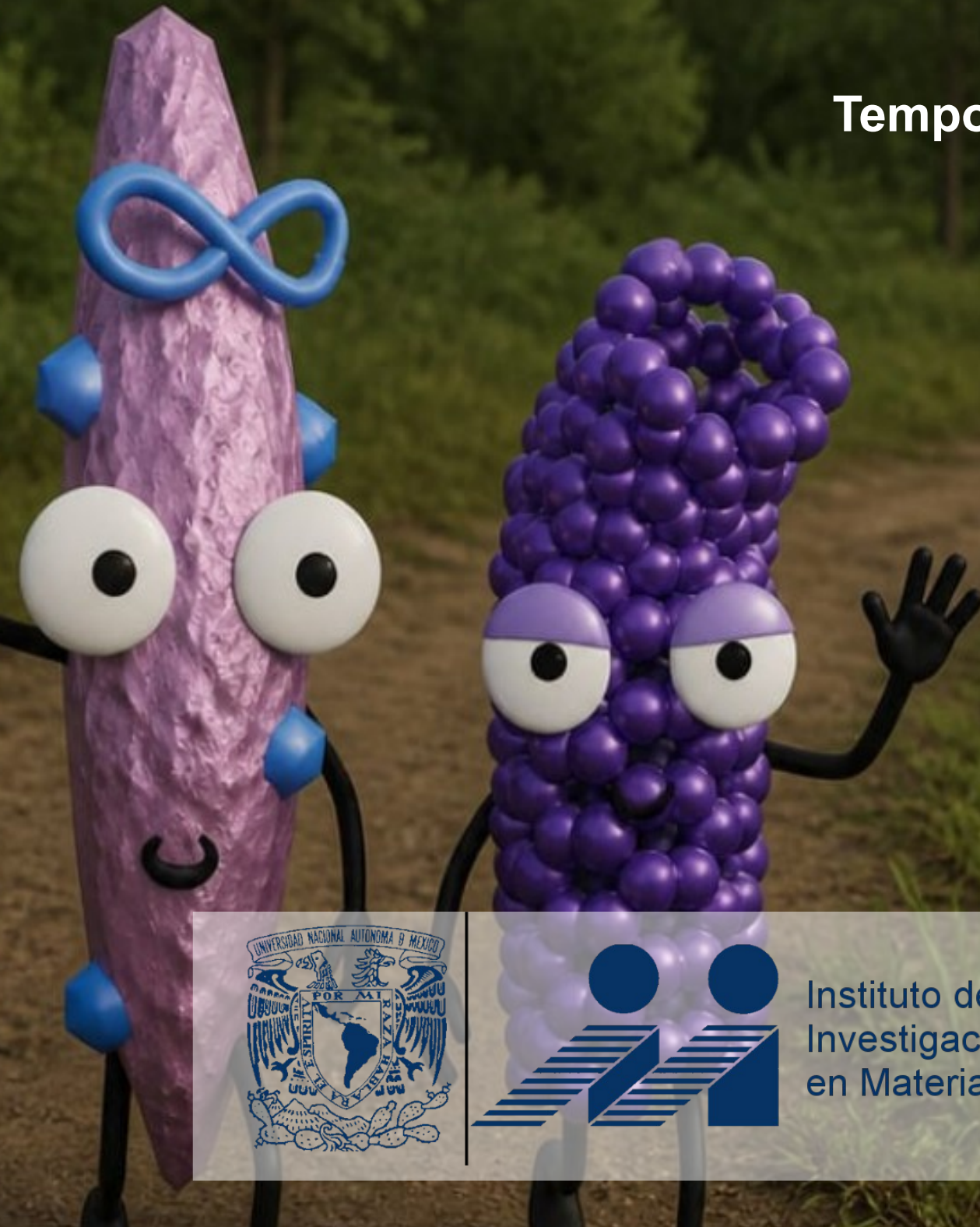


Temporada 8



Instituto de
Investigaciones
en Materiales

Temporada 8

Cómic 1.....	1
Cómic 2.....	20
Cómic 3.....	31

MATERIALES AMIGABLES

Comic 1



Buen día



Estamos listos...



...para aprender sobre las
celdas solares



Primero díganme,
¿qué tanto saben?



Yo solo sé...que de alguna forma
toman la energía del sol y la
convierten en energía eléctrica



Exacto, la
energía que
necesitamos
para que
funcionen los
utensilios de la
cocina...



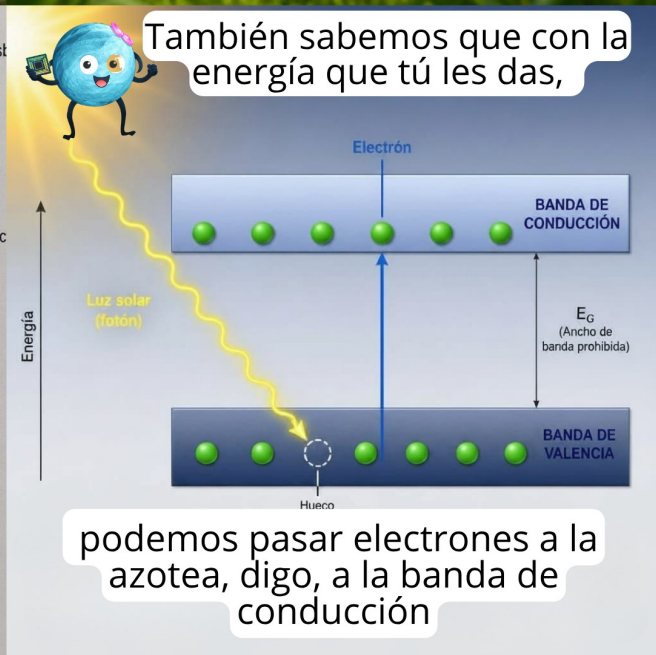
Muy bien, y recuerdan ¿de qué materiales están hechas?



¡semiconductores!



Bien, los semiconductores son la base de las celdas solares y también se necesitan metales para hacer contactos eléctricos



También sabemos que con la energía que tú les das,

podemos pasar electrones a la azotea, digo, a la banda de conducción



Sí, eso lo entendemos, pero eso no es suficiente para generar energía



Exactamente, es un poco más complejo

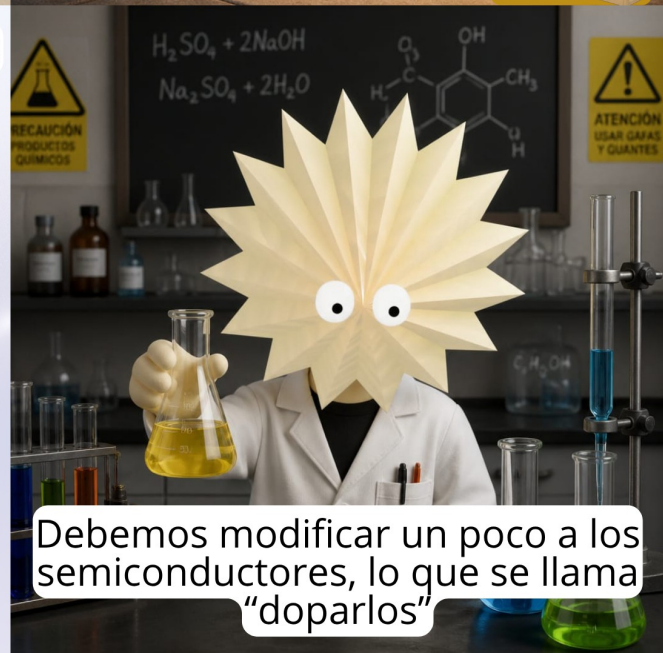
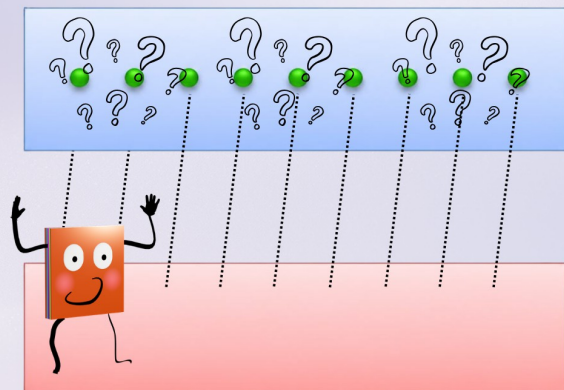
Para que tu licuadora funcione, necesitas darle corriente eléctrica, ¿verdad?



Ajá, necesitamos un voltaje para que fluya la corriente

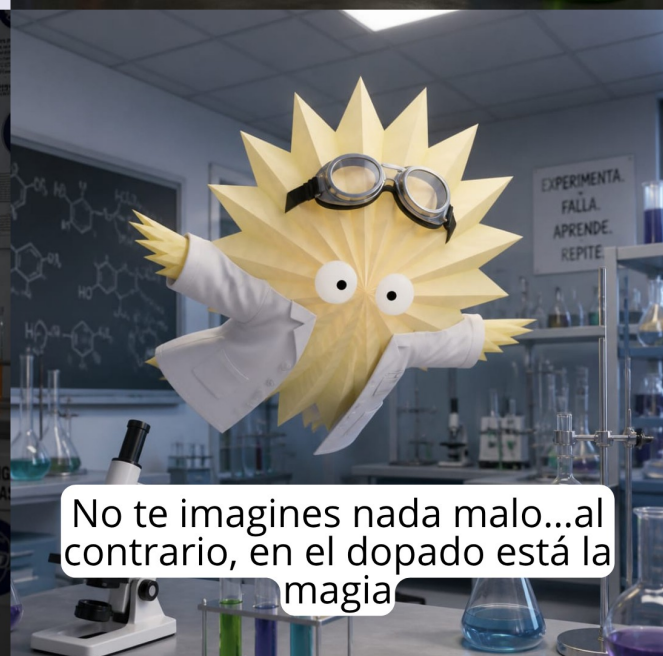


Si solo le das energía, los electrones en la banda de conducción no sabrían hacia dónde moverse, necesitan la guía de un campo eléctrico



Debemos modificar un poco a los semiconductores, lo que se llama "doparlos"

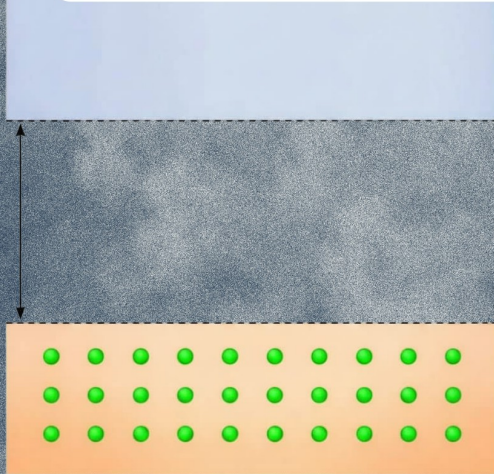
Pobrecitos... ¿hay que darles un medicamento?



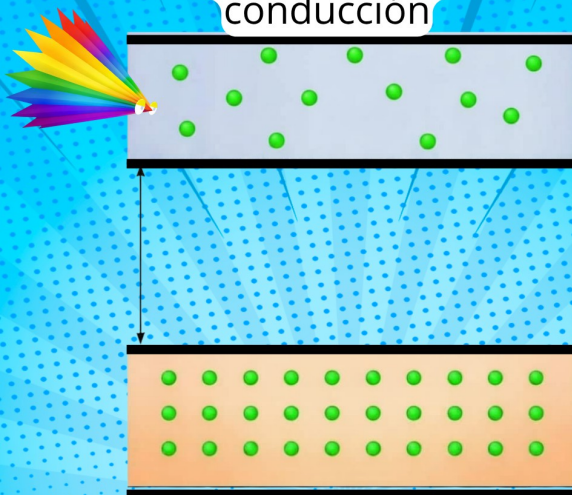
No te imagines nada malo... al contrario, en el dopado está la magia



¿Recuerdan que si no los excito, no pueden conducir energía eléctrica?



Cuando los dopamos, les damos unos electrones extra que se acomodan en la banda de conducción



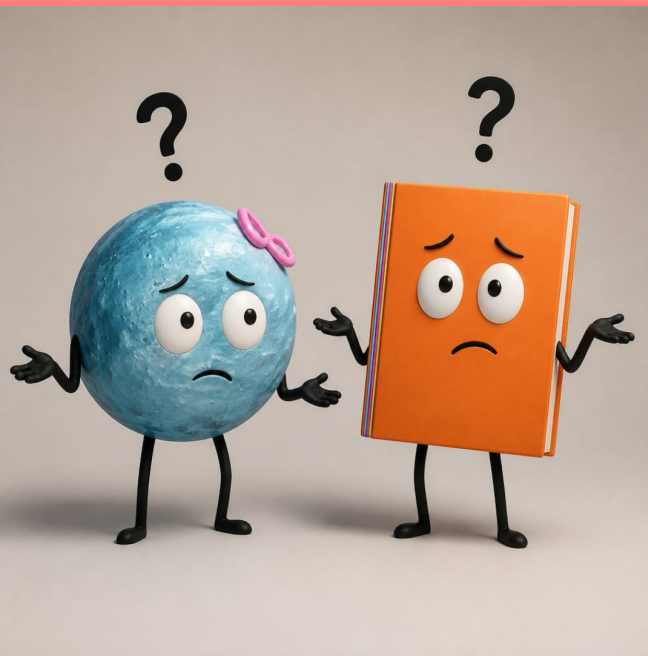
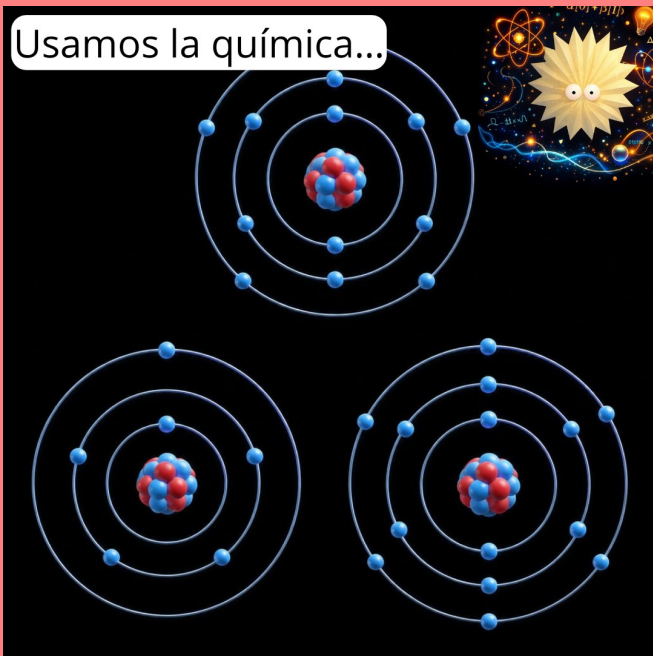
Pues no, porque solo son unos pocos electrones libres y siguen teniendo la brecha prohibida



El "gap", pero no entiendo de dónde van a salir los electrones extra



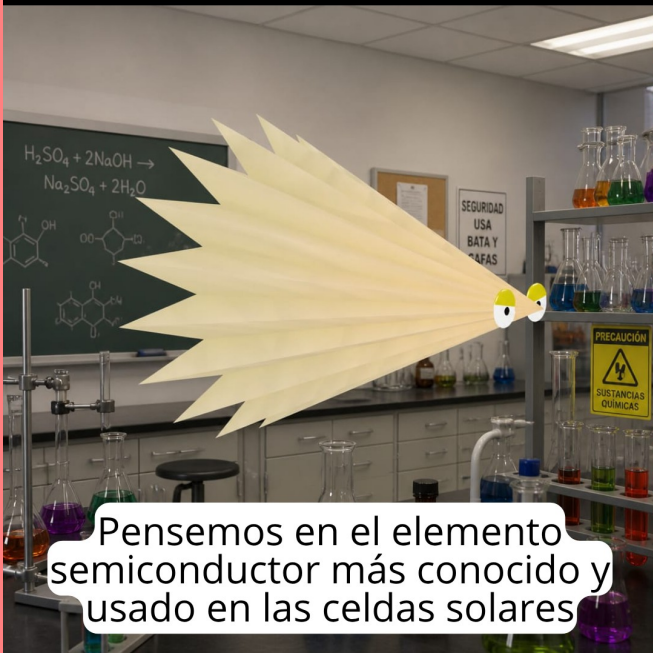
Usamos la química...



El silicio, ¿no?



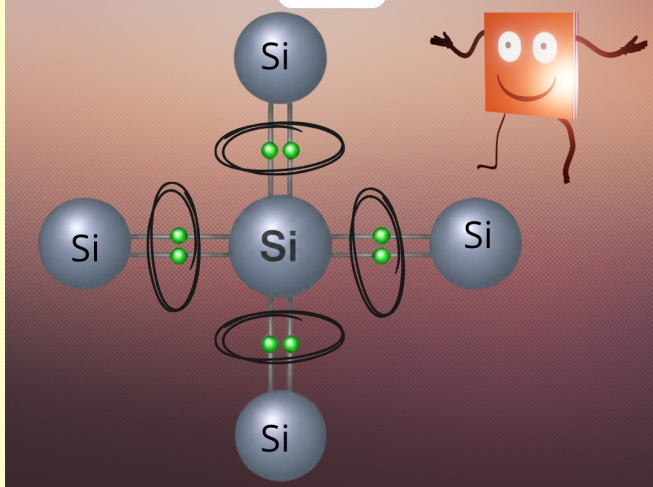
Pensemos en el elemento semiconductor más conocido y usado en las celdas solares



Muy bien contestado

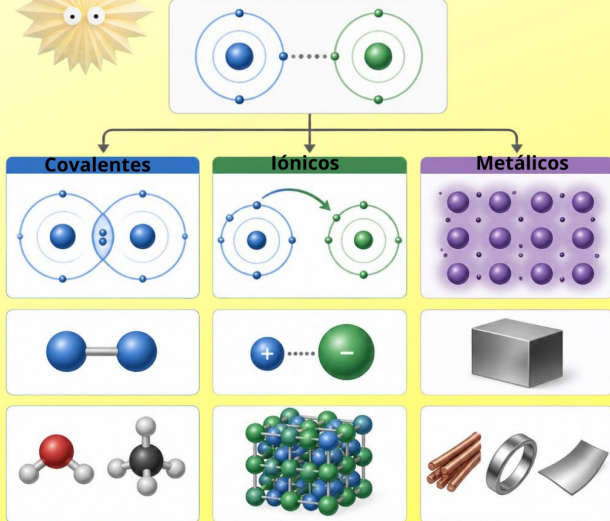


El silicio usa sus **cuatro** electrones de valencia y forma **cuatro** enlaces covalentes con otros átomos de silicio



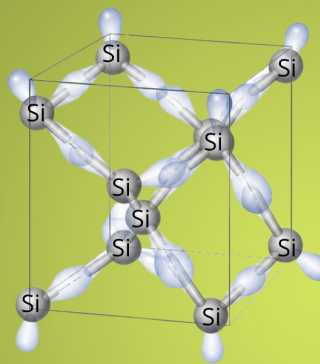
Ya ven. Allí está la química en aplicación

Enlaces atómicos



Imagínense que sustituyo algunos (poquitos, ¿eh?) átomos de silicio por fósforo

13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA
5 B Boro 10.81	6 C Carbono 12.01	7 N Nitrógeno 14.01	8 O Oxígeno 16.00	9 F Flúor 19.00
13 Al Aluminio 26.98	14 Si Silicio 28.09	15 P Fósforo 30.97	16 S Azufre 32.06	17 Cl Cloro 35.45
31 Ga Galio 69.72	32 Ge Germanio 72.63	33 As Arsénico 74.92	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.90

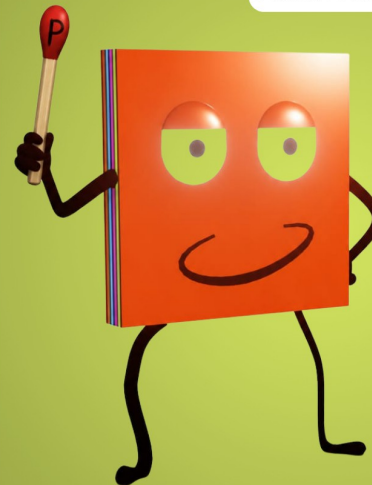


Banda de Conducción vacía

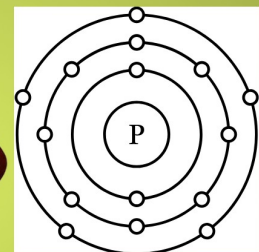
Banda de Valencia llena

Sí, eso lo aprendimos, por eso su banda de valencia queda totalmente llena y es un semiconductor

El fósforo tiene cinco electrones de valencia

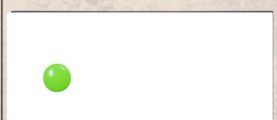
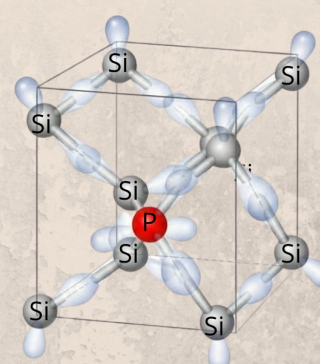


FÓSFORO (P)



$Z = 15$
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
 $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$

Misterio resuelto....ese electrón se va a la banda de conducción

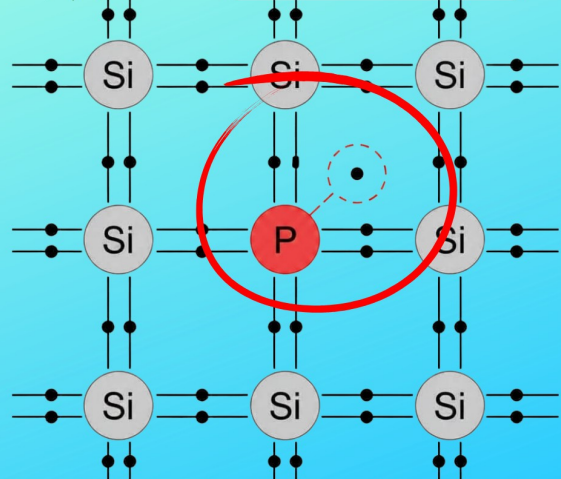


Puede enlazarse con los cuatro silicios, pero le sobra un electrón

Y no tuvo que saltar, solo se acomodó allí cuando dopaste al silicio



Correcto, ese es un silicio dopado tipo-N, porque tiene exceso de cargas negativas



¿Y qué, hay de otro tipo?

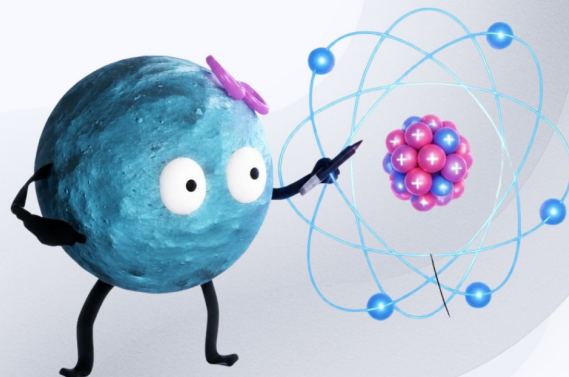


Sí, es que necesitamos también el dopado tipo-P

No, imposible, esos serían los protones del núcleo



¿Con cargas de exceso P?
¿positivas?



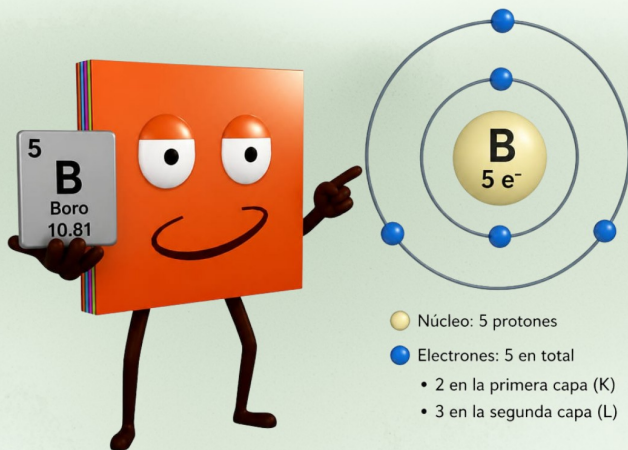
Esperen...



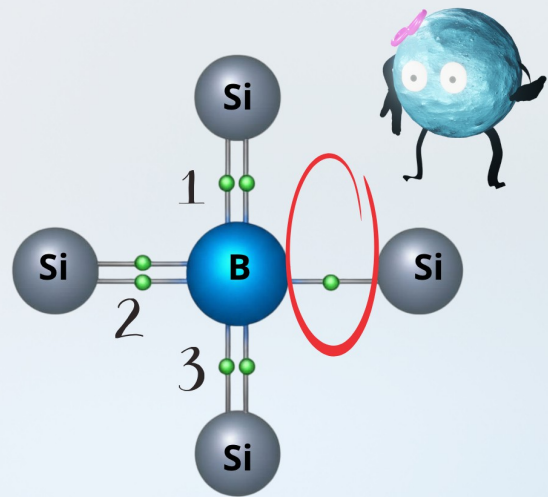
Pensemos que ahora al silicio le agregamos un poco de boro

13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA
5 B Boro 10.81	6 C Carbono 12.01	7 N Nitrógeno 14.01	8 O Oxígeno 16.00	9 F Flúor 19.00
13 Al Aluminio 26.98	14 Si Silicio 28.09	15 P Fósforo 30.97	16 S Azufre 32.06	17 Cl Cloro 35.45
31 Ga Galio 69.72	32 Ge Germanio 72.63	33 As Arsénico 74.92	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.90

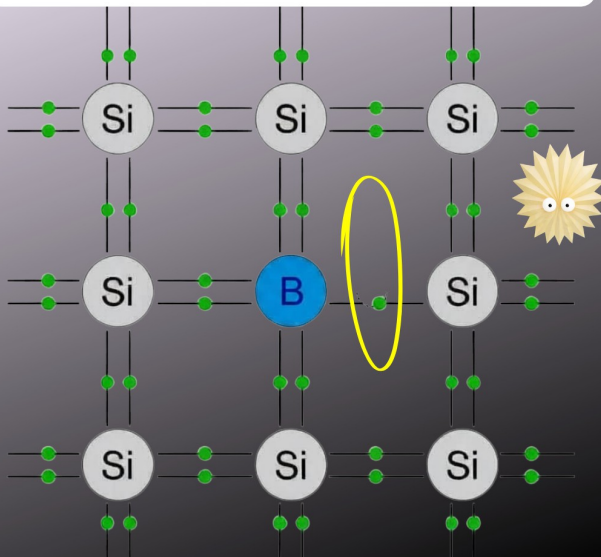
El boro solo tiene tres electrones de valencia



Entonces formará solo tres enlaces covalentes con el silicio



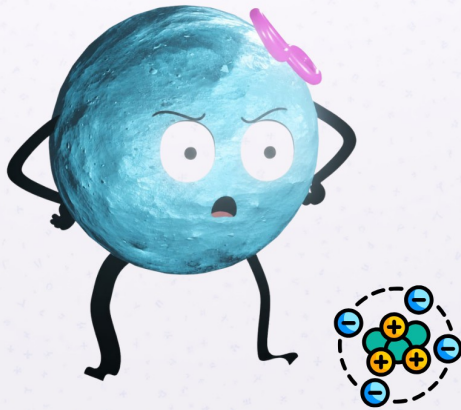
Ya ven...el silicio se queda sin formar uno de sus cuatro enlaces



¡Oh! Ya veo....queda un hueco en la banda de valencia



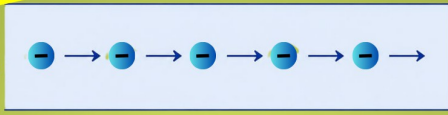
Pero ese hueco, ¿tiene carga positiva?



Digamos que así lo imaginamos, porque recuerda que ahora los electrones en la banda de valencia pueden moverse brincando entre huecos

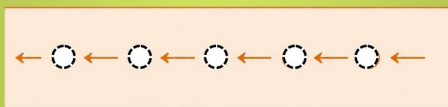


BANDA DE CONDUCCIÓN



BRECHA DE ENERGÍA (E_g)

BANDA DE VALENCIA



Y es cómo si esos huecos se movieran en el sentido contrario de los electrones

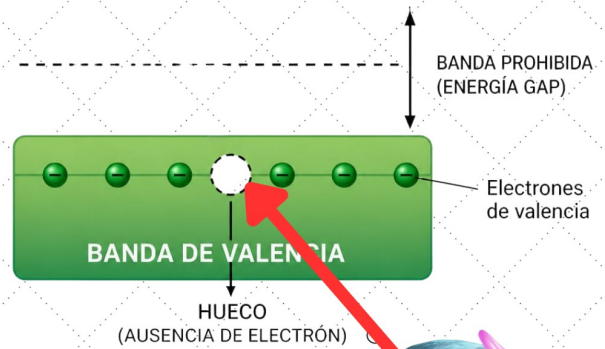


A ver, más despacio...

¡Imagina los huecos en la banda de valencia!



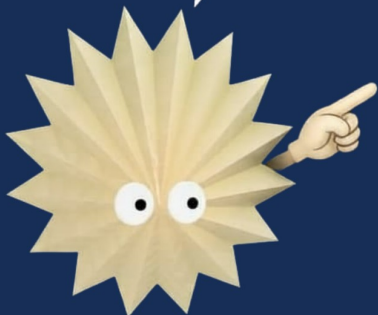
SEMICONDUCTORES
Son materiales que tienen una conductividad eléctrica intermedia entre los conductores y los aislantes.
Ejemplos: Si (Silicio), Ge (Germanio), LED.
¿Cómo funcionan? Su conductividad puede controlarse agregando impurezas llamadas dopantes.
Tipo N (con exceso de electrones):
● Electrón libre
● Átomo de silicio
Tipo P (con huecos):
● Hueco
Aplicaciones: Transistores, diodos, paneles solares, computadoras, teléfonos móviles y más.



Listo, me los imagino blanquitos...



Y coloca también
unos electrones
en la banda
de conducción



Vale...¿de cualquier color?



Sí, de cualquier color



BANDA DE CONDUCCIÓN

Electrones
libres

BANDA PROHIBIDA

BANDA DE VALENCIA

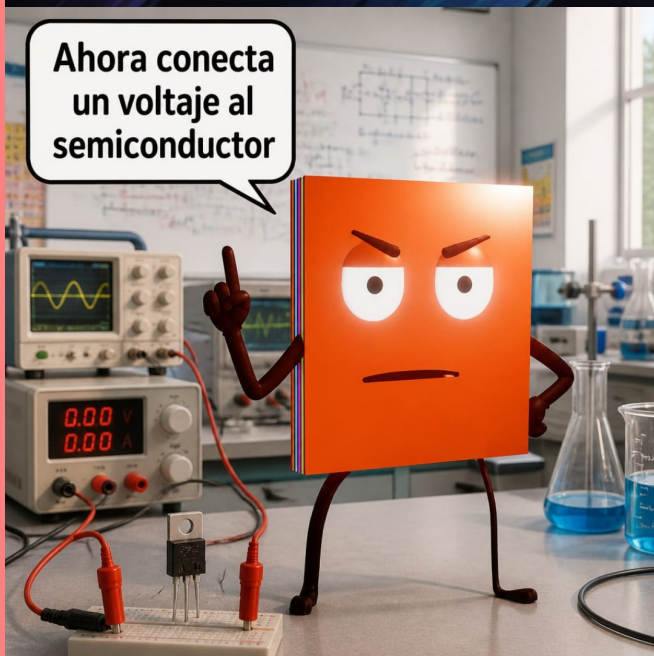
Electrones
de valencia

HUECO
(AUSENCIA DE ELECTRÓN)

Ya, los puse de azul

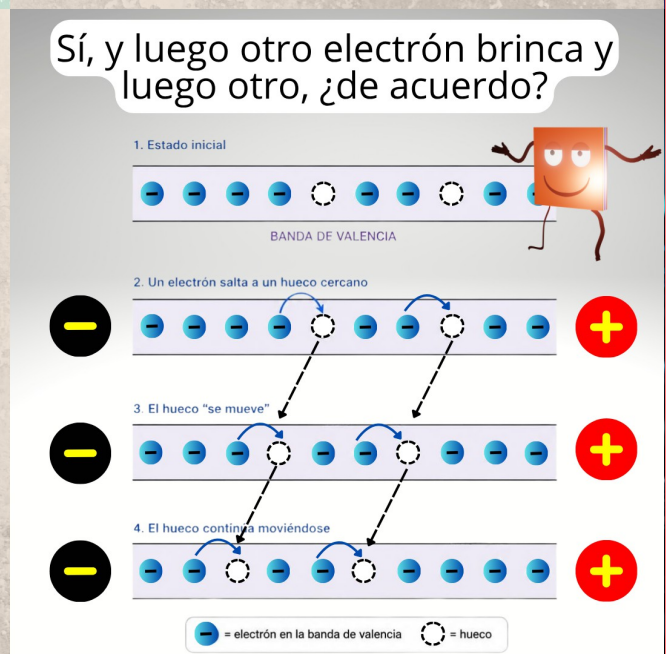
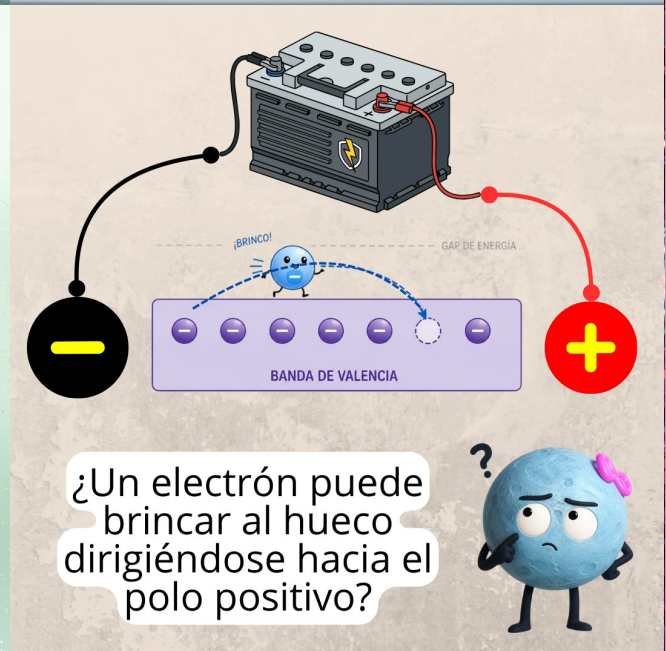
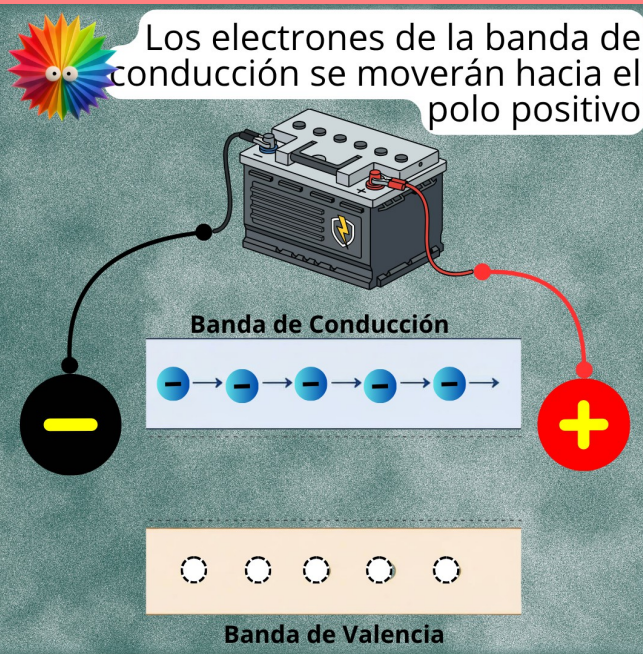


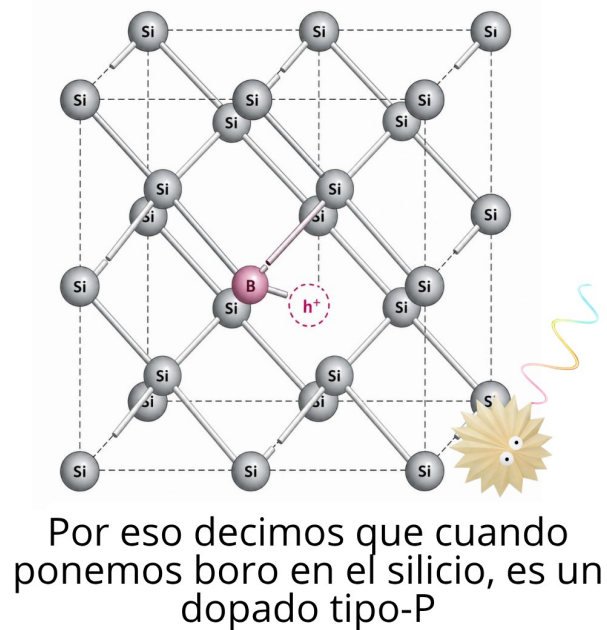
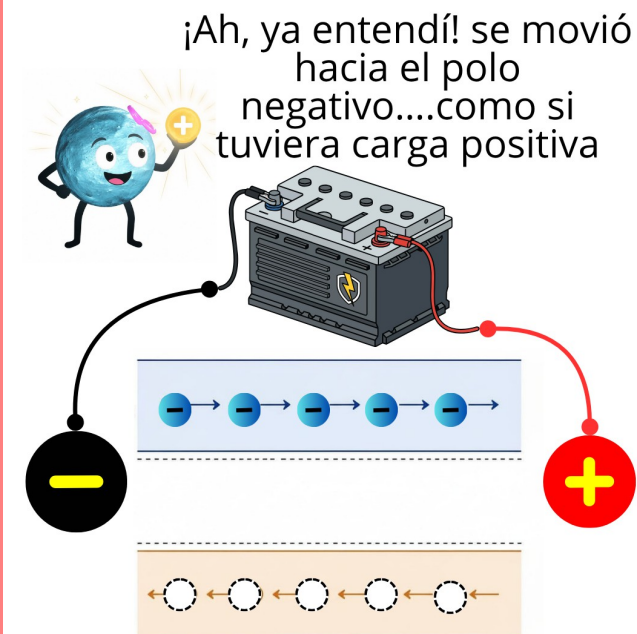
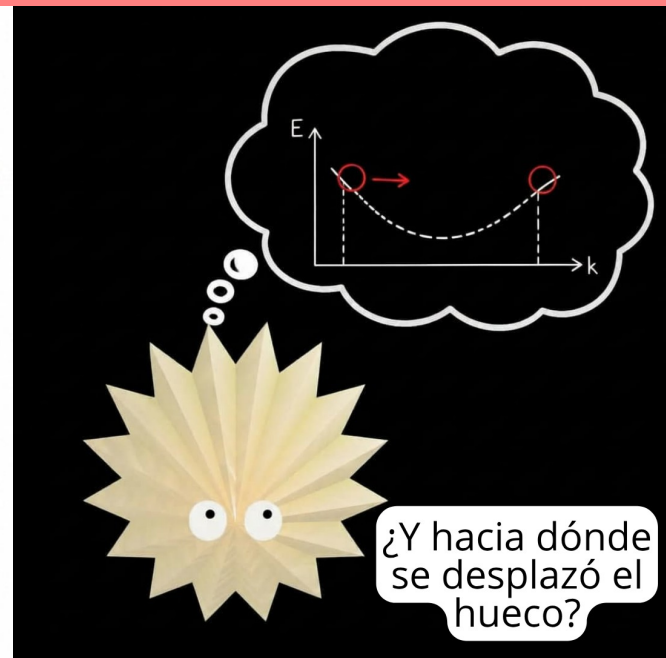
Ahora conecta
un voltaje al
semiconductor

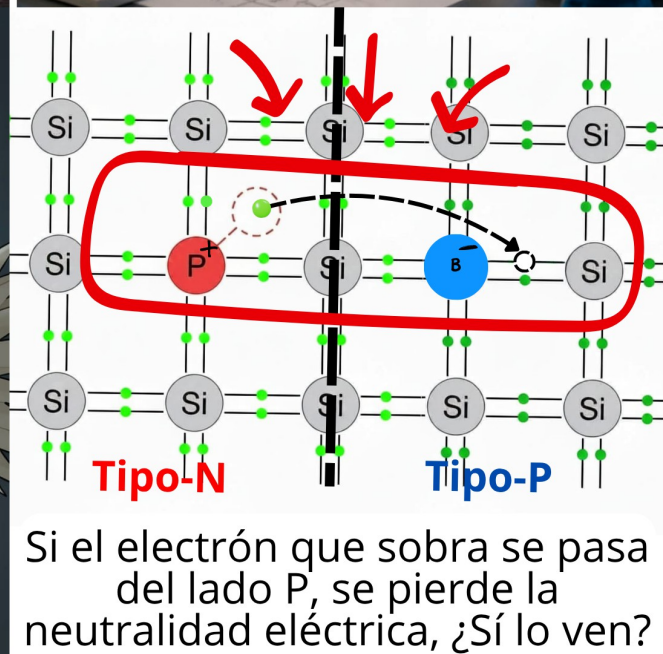


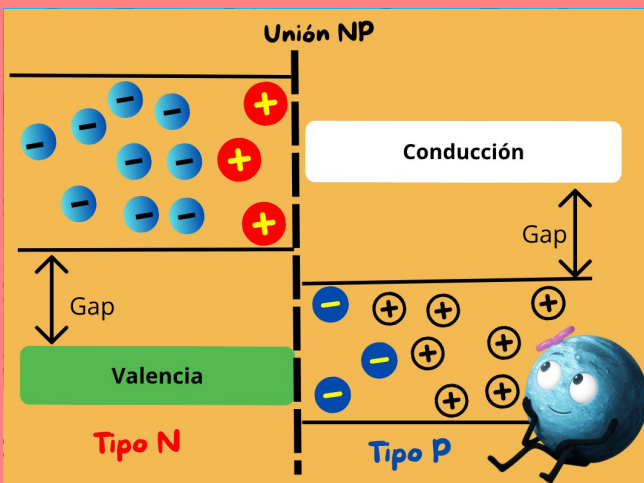
Ok, pongo mi batería



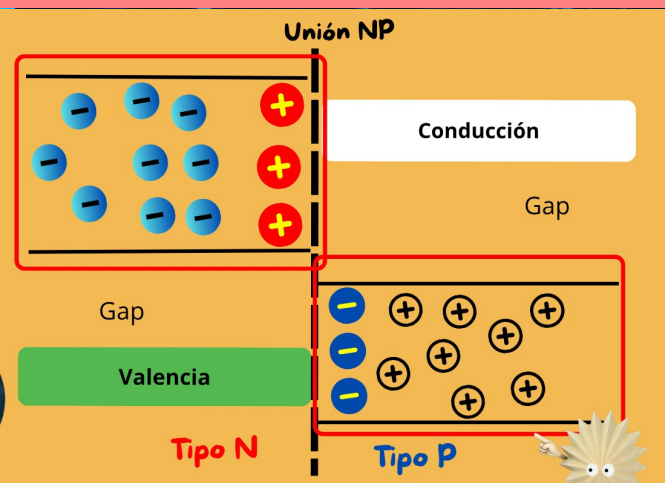




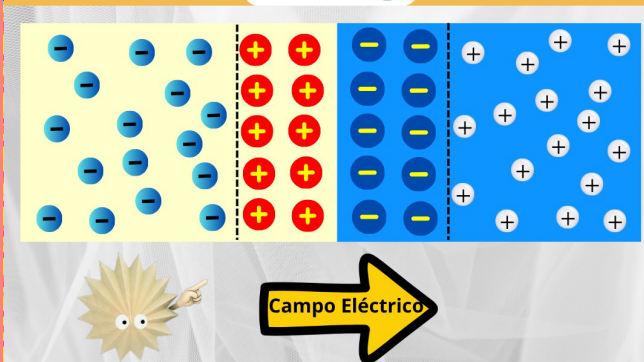




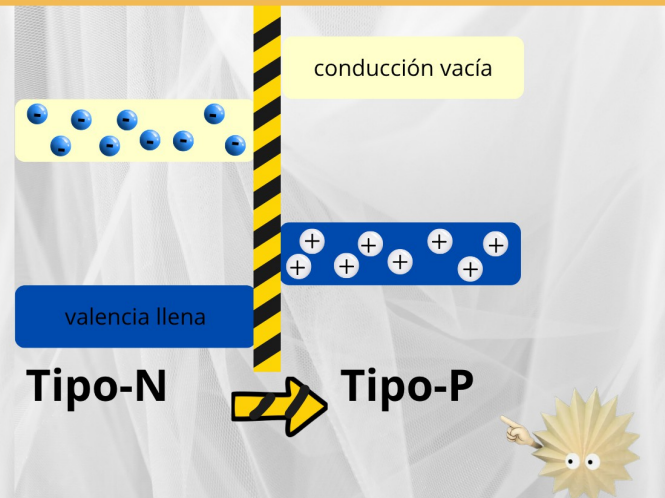
El átomo que perdió un electrón, queda como catión (+) y el que recibe al electrón, se convierte en anión (-)



Podemos fijarnos sólo en las bandas donde hay portadores libres para cada tipo de dopado



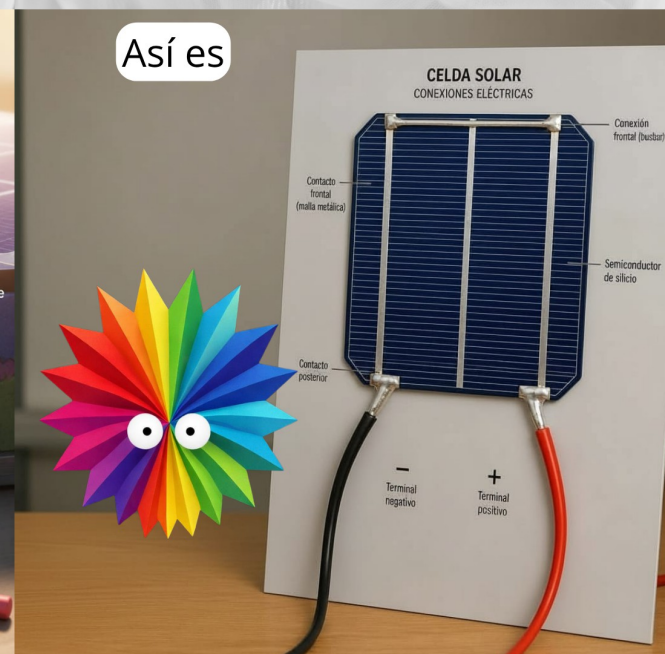
Vemos que después de que se mueven algunos electrones, los aniones y cationes se organizan en la unión y se forma un campo eléctrico de positivo (+) a negativo (-)



El campo eléctrico actúa como una barrera que impide el paso de más electrones



Imagino que eso es lo difícil de construir la celda solar....que todo en la unión quede bien equilibrado



Así es

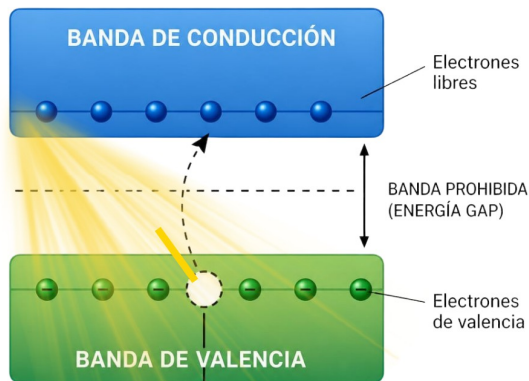
Y entonces, ¿qué pasa cuando llega el sol?



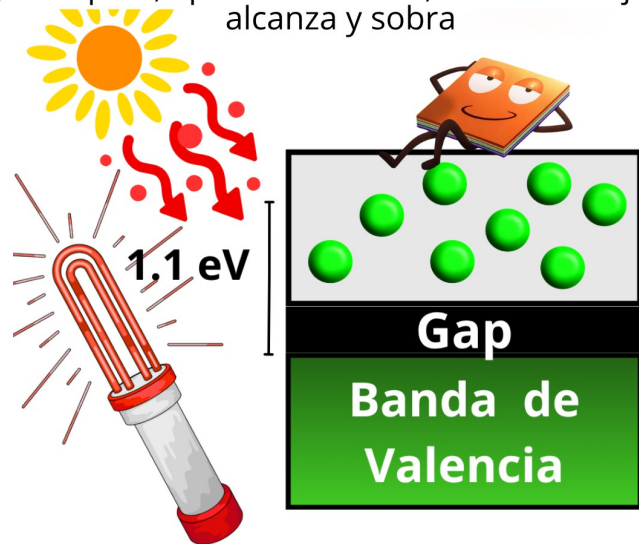
Eso ya se los dije antes...



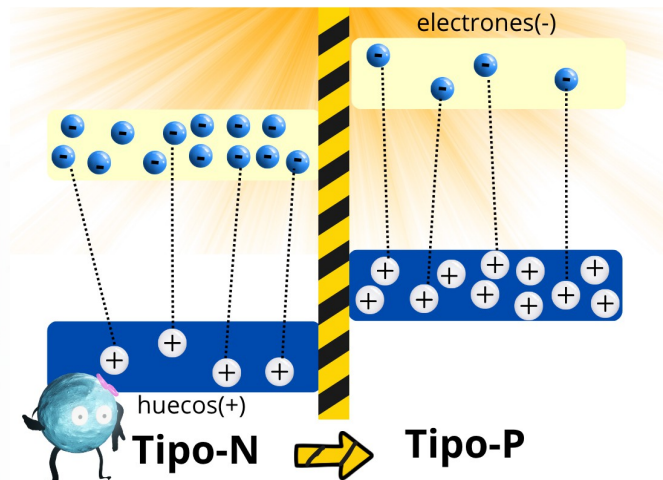
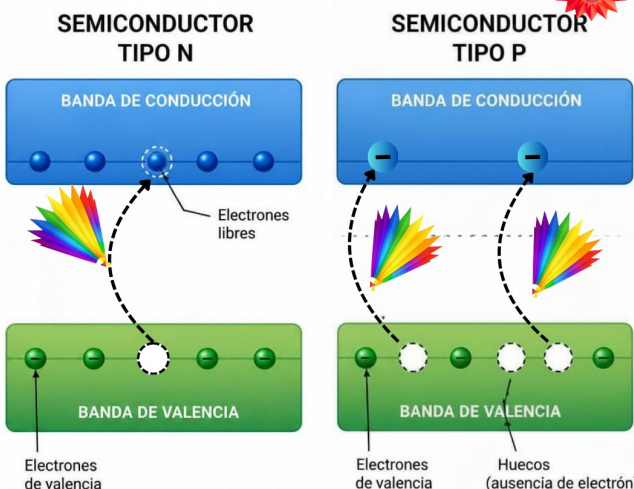
Cierto, en los semiconductores, un electrón absorbe la energía de la luz, salta a la banda de conducción y deja un hueco en la banda de valencia



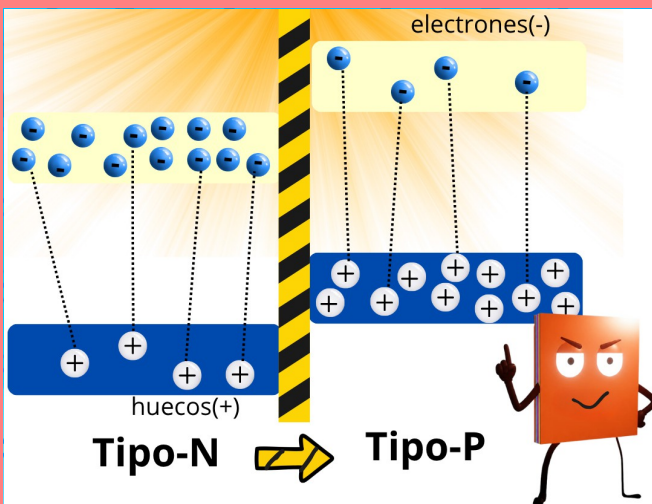
Pues muy fácil, el gap del silicio es bien chiquito, apenas de 1.1 eV, con la luz roja alcanza y sobra



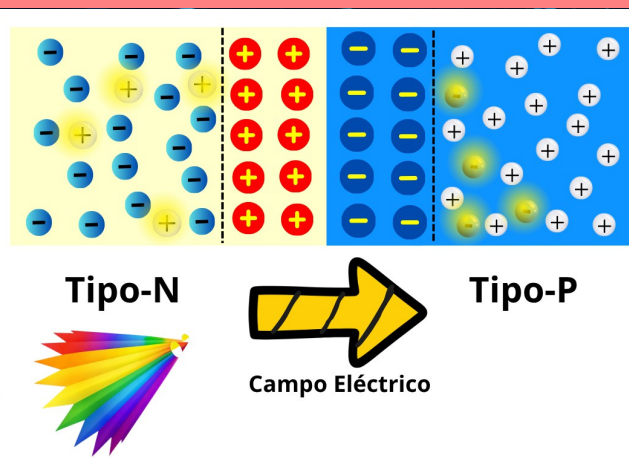
Habrán más electrones que pasan a la banda de conducción de ambos lados, el N y el P



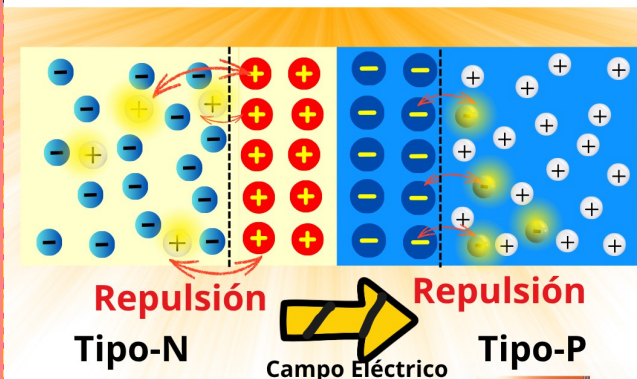
Ahora el **tipo-N** también tendrá huecos en la banda de valencia y más electrones en la banda de conducción



Y, el **tipo-P** tendrá electrones en la banda de conducción y más huecos en la de valencia

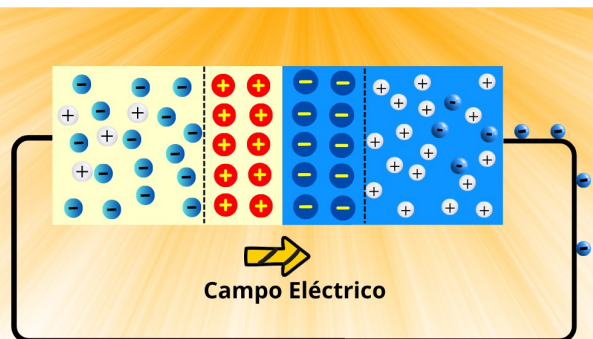


A esos electrones y huecos nuevos (**fotogenerados**), el campo eléctrico en la unión los obliga a separarse...¿está claro?

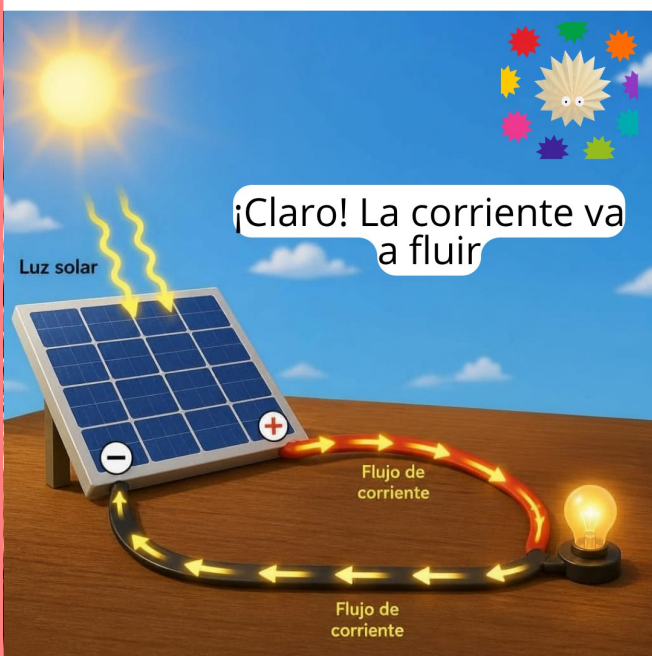


Los **huecos del lado N** son empujados lejos de la unión

Los **electrones del lado P** son empujados lejos de la unión



Entonces, si en esos extremos coloco un cable, los electrones pueden ir por ahí para encontrarse con sus huecos del otro lado

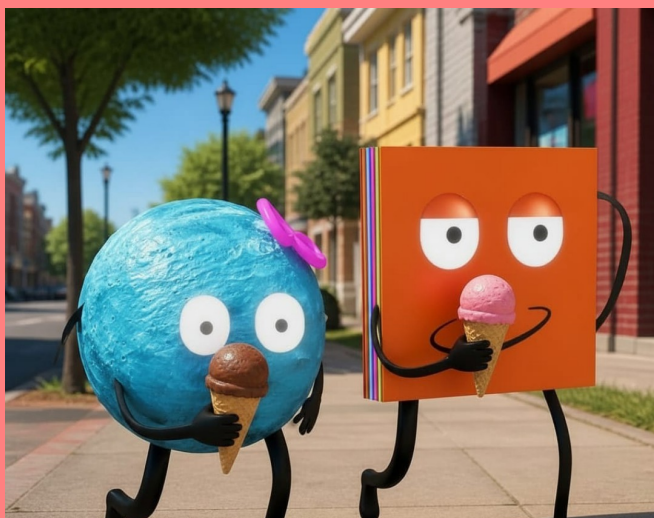






MATERIALES AMIGABLES

Comic 2



¡Muy interesante lo de las celdas solares! Parece una forma de tener energía y no contaminar

Hubieras pedido uno, sí, está muy rico, sobre todo este de choco-chip.



No estoy tan seguro de que no se contamine. Bueno, sí sé que yo, no contamina. Pero los materiales que forman las celdas, no sé... ¿Está rico el helado?



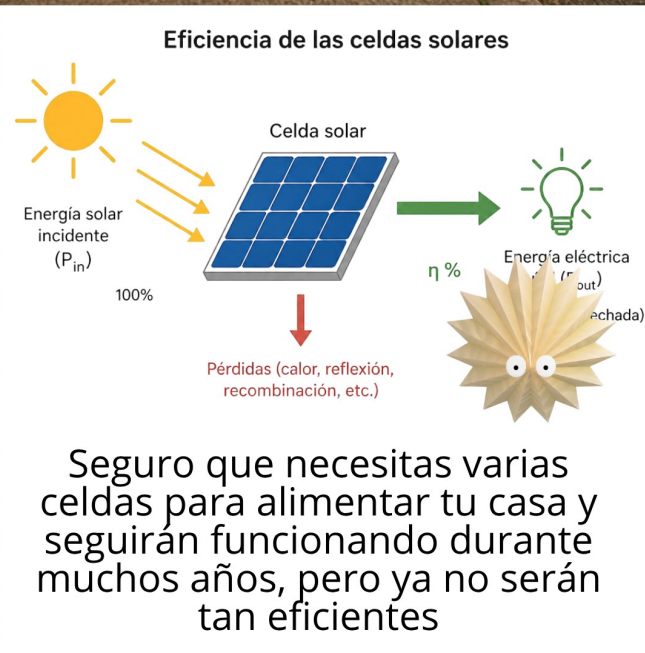
Yo creo que todo contamina, pero al menos las celdas solares no sueltan gases



Siempre tan pesimista. ¿Por qué todo ha de contaminar?

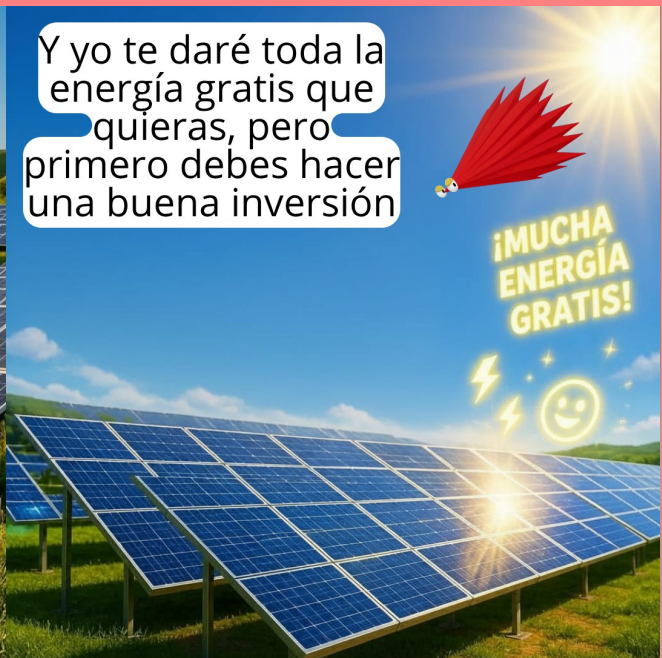


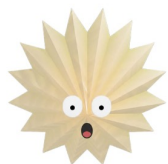
¿Está rico el de fresa?



COSTO DE CELDAS SOLARES	COSTO DE LA GASOLINA
✓ INVERSIÓN INICIAL ✓ DURA 25+ AÑOS ✓ BAJO MANTENIMIENTO ✓ AHORRAS A LARGO PLAZO \$\$\$	✗ PAGAS CADA SEMANA ✗ SUBE TODO EL TIEMPO ✗ DAÑA EL PLANETA ✗ NO ES RENTABLE A LARGO PLAZO \$\$\$

No, aún son más costosas que usar el petróleo y su producción también genera contaminación

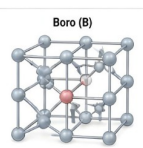
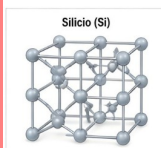
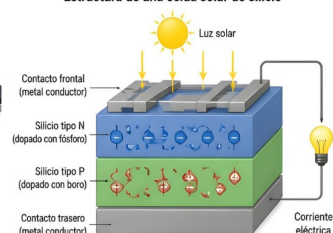




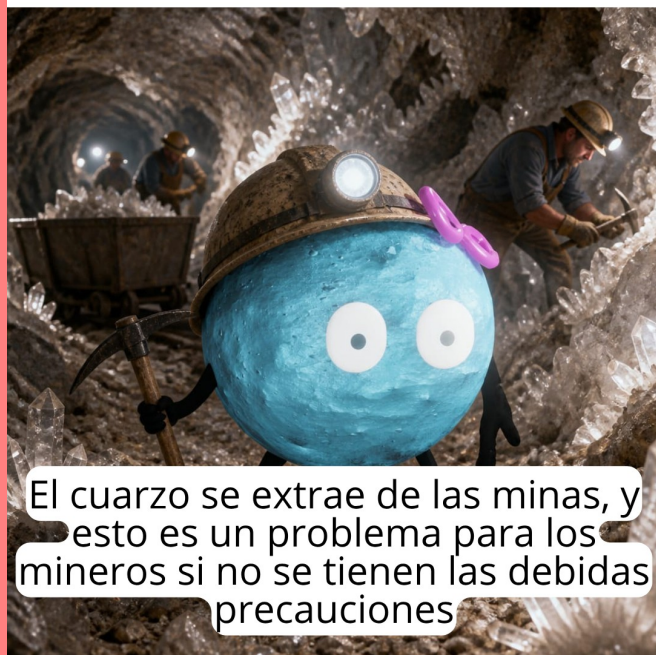
Pensemos en los materiales que tienen las celdas solares, según vimos antes



Estructura de una celda solar de silicio



Sabemos que tienen silicio, que se obtiene de la arena del mar o del cuarzo



El cuarzo se extrae de las minas, y esto es un problema para los mineros si no se tienen las debidas precauciones



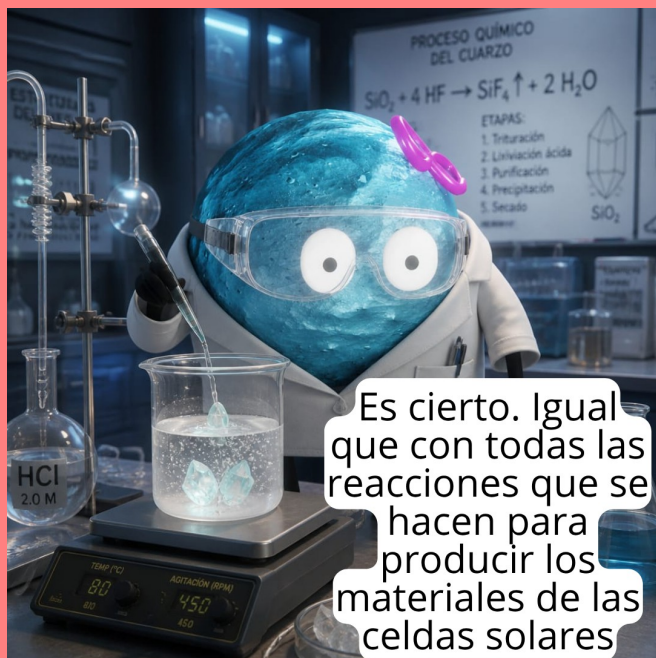
¿Por qué dices eso?



Porque hay una enfermedad pulmonar que se llama silicosis que les puede dar



Eso se puede evitar si se usan medidas de protección adecuadas

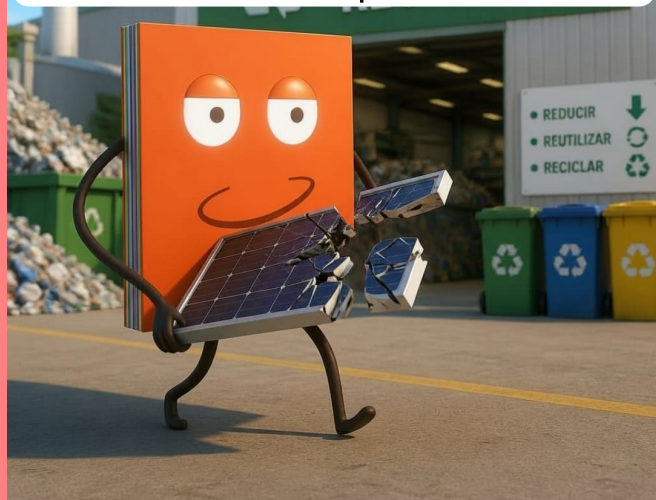


Es cierto. Igual que con todas las reacciones que se hacen para producir los materiales de las celdas solares

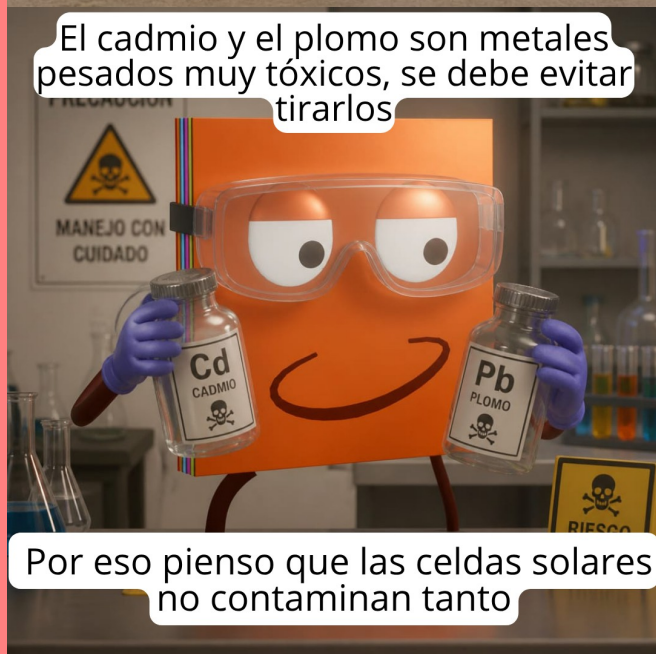


Digamos que eso se controla, pero las celdas que ya no sirven tienen materiales que ahí se quedan

Insisto, esas celdas no se deben tirar a la basura común. Se deben recolectar para reciclarlas



Los elementos principales que pueden tener son silicio, plata, aluminio, cadmio y plomo



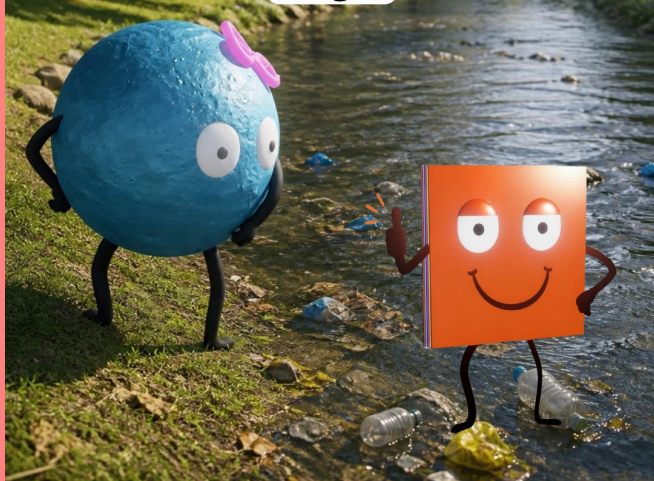
El cadmio y el plomo son metales pesados muy tóxicos, se debe evitar tirarlos

Por eso pienso que las celdas solares no contaminan tanto



Sí, puede que tengas razón, lo que ganamos con las celdas solares es mucho más que lo que perdemos

Además, los semiconductores no sólo se usan para las celdas solares, también ayudan a limpiar el agua



¡Es cierto, yo también puedo ayudar a limpiar el agua con semiconductores!



¿De qué tipo de contaminantes estamos hablando? Porque el agua puede estar contaminada con muchas cosas:



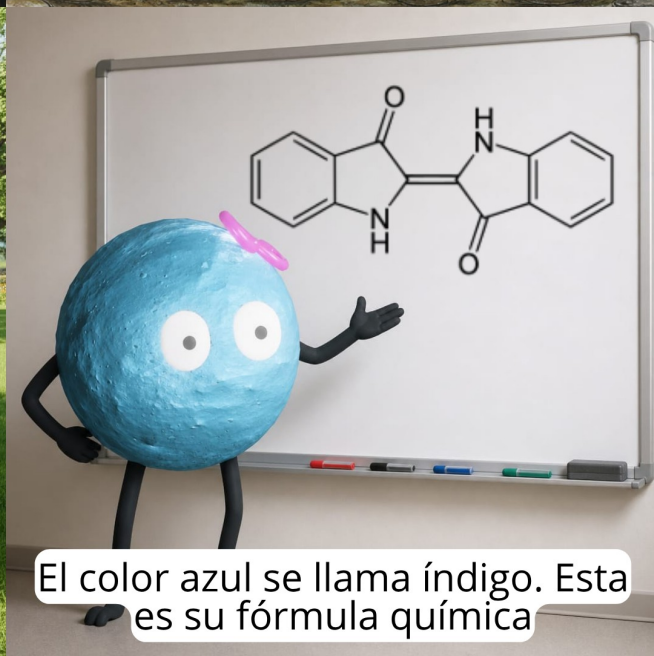
Puede tener bacterias, virus, colorantes, medicinas, pesticidas, metales pesados



Yo me sé el de los colorantes, por ejemplo, el azul que se usa para pintar la mezclilla de tu pantalón



El color azul se llama índigo. Esta es su fórmula química

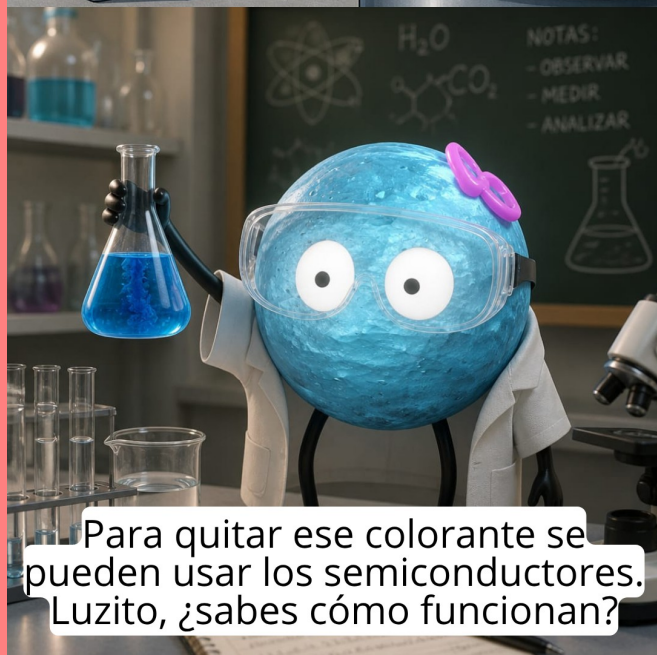




Leía el otro día que se produce sintéticamente en grandes cantidades, como 80 mil toneladas



En las fábricas de mezclilla se pintan las telas, y mucho se deshecha en el agua que entonces sale azul



Para quitar ese colorante se pueden usar los semiconductores. Luzito, ¿sabes cómo funcionan?



Sí, es algo que se llama fotocatalisis, pero no solamente se puede quitar el azul al agua



Primero habrá que quitar toda la basura



En las plantas pueden eliminar hasta las bacterias, pero los colorantes, pesticidas y medicamentos se les escapan

Pero yo puedo activar a los semiconductores para eliminarlos



Los medicamentos, los pesticidas y los colorantes están compuestos principalmente por carbono



PESTICIDAS



COLORANTES



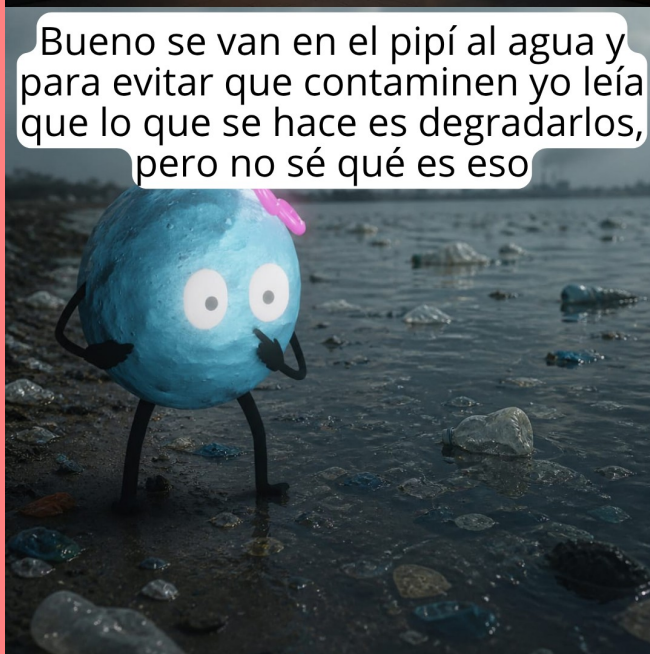
Los medicamentos llegan al agua porque cuando nos los tomamos, no se usan del todo y lo que sobra se deshecha por la orina



Que fino hablaste ... en lugar de decir que cuando hacemos pipí ... jajajaja



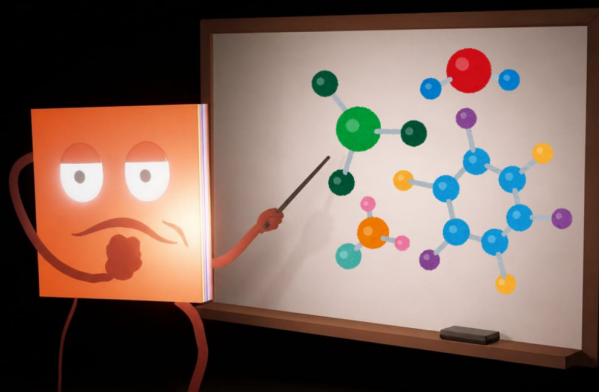
Bueno se van en el pipí al agua y para evitar que contaminen yo leía que lo que se hace es degradarlos, pero no sé qué es eso



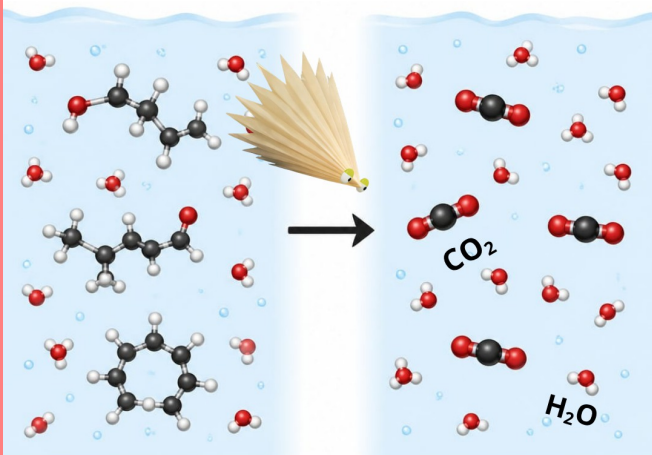
No sabes porque no pusiste atención en la clase de bioquímica. Estabas hablando que te hable con tus amigas



Hummm si es cierto, estaba bueno el chisme ... si me explicas la degradación, te cuento el chisme



¡Conste! Lo que dijeron es que la degradación es romper las moléculas, para que sean cada vez más pequeñas



H_2O (agua) CO_2 (dióxido de carbono)
 ● = C (carbono)
 ● = O (oxígeno)
 ● = H (hidrógeno)

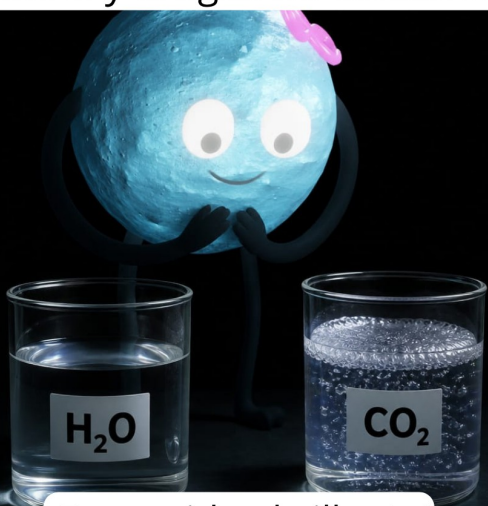
La degradación total debe producir dióxido de carbono y agua

Si eso ocurre, se considera una degradación total y se resuelve el problema

Problema resuelto



¡Claro! Porque el dióxido de carbono y el agua no contaminan



¡Es una idea brillante!



Cuando se rompen enlaces, se necesita energía y ahí es donde entro yo

No es tan fácil, porque se necesitan materiales especiales para que tú puedas romper los enlaces



Si no fuera así, andarías rompiendo todo por todos lados, Luzito. Y no, no eres Superman



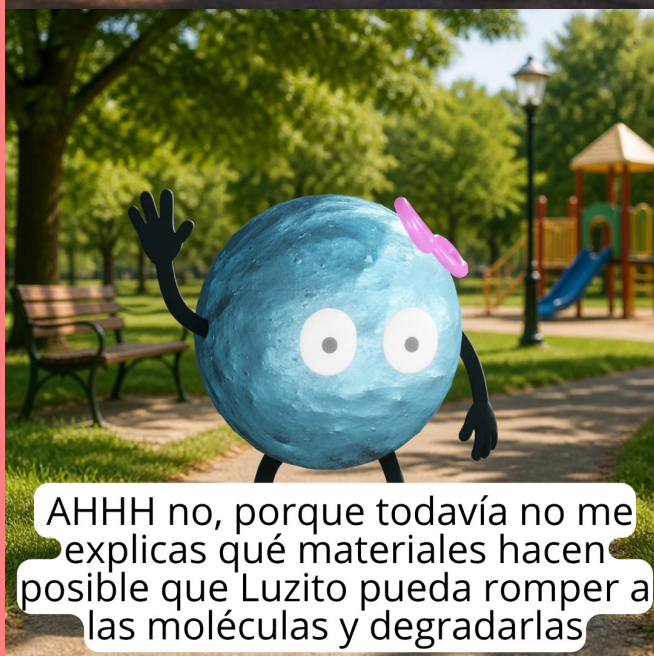
Es cierto, y por suerte eso no sucede. ¡Qué bueno que pusiste atención a la clase y que me explicaste! Ahora ya entendimos



Sí, ahora te toca decirnos el chisme



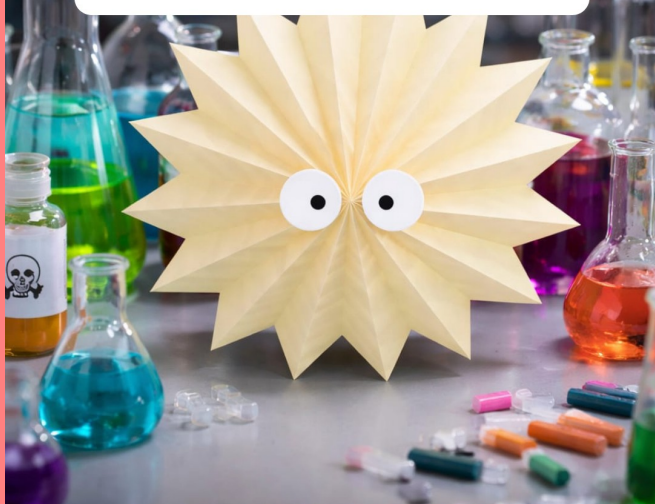
AHHH no, porque todavía no me explicas qué materiales hacen posible que Luzito pueda romper a las moléculas y degradarlas



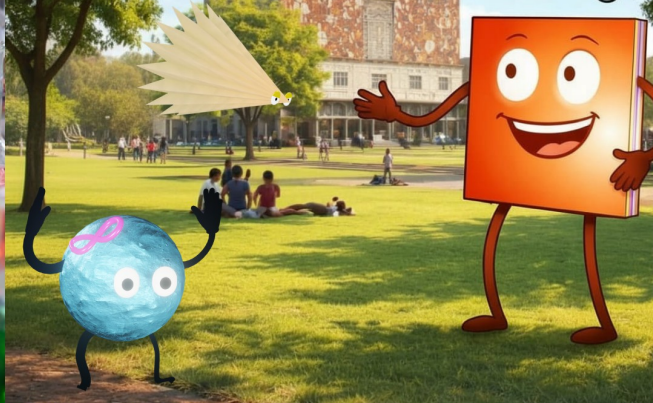
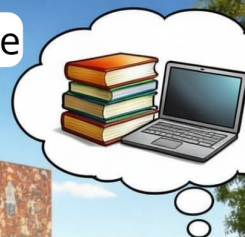
¡Eso es la fotocatalisis y no la explicaron en la clase! ¡Eso es trampa!



Yo sólo sé que le llaman fotocátalisis, así que los materiales deben de ser catalizadores



Lo voy a estudiar. Si te lo explico, ¿nos cuentas el chisme Particulina?



Sale, te lo cuento si entendemos eso de la fotocátalisis



pero mejor ya vámonos que ya se nos hizo tarde y quiero ir al gimnasio, aprovechando que estamos de vacaciones

Yo voy a jugar frontón



Yo mejor me apago, hasta la próxima



MATERIALES AMIGABLES

Comic 3

¿Recuerdan el episodio anterior?

Vimos que algunos contaminantes, como los colorantes o los antibióticos, pueden permanecer mucho tiempo en el agua

Fotocatalizador

También vimos que la fotocatálisis puede ayudar a eliminar esos contaminantes... pero no vimos cómo funciona

¡Exacto! ¿Qué tiene que ver la luz con limpiar el agua?

Creo que en esto nos pueden ayudar Barrie, Tubito y Luzito

¿Hablan de nosotros? ¡Creímos escuchar que platican sobre la luz para limpiar el agua!

¡Hola!

Parece que tenemos entonces que hablar de **fotocatálisis**



Sí, así es, pero recordemos un poco de **catálisis**, para entrar rápido en materia

Les propongo recordarlo jugando



Filmón, tú seguirás el camino uno: es más corto, pero tendrás que subir una cuesta muy empinada



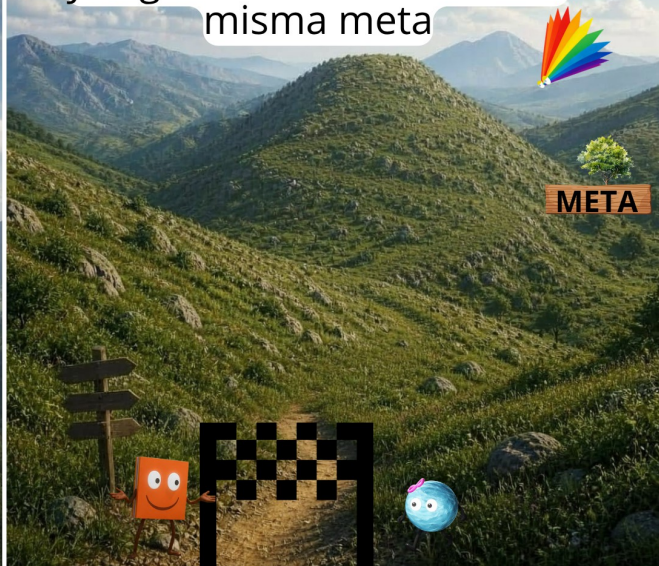
se trata de correr... los dos deben llegar hasta aquel árbol, pero cada uno seguirá un camino diferente



Particulina, tú tomarás el camino
dos: es un poco más largo, pero casi
todo el recorrido es plano



Los dos partirán del mismo lugar
y llegarán exactamente a la
misma meta



¡Listos... fuera!



Yo apuesto
por
Particulina

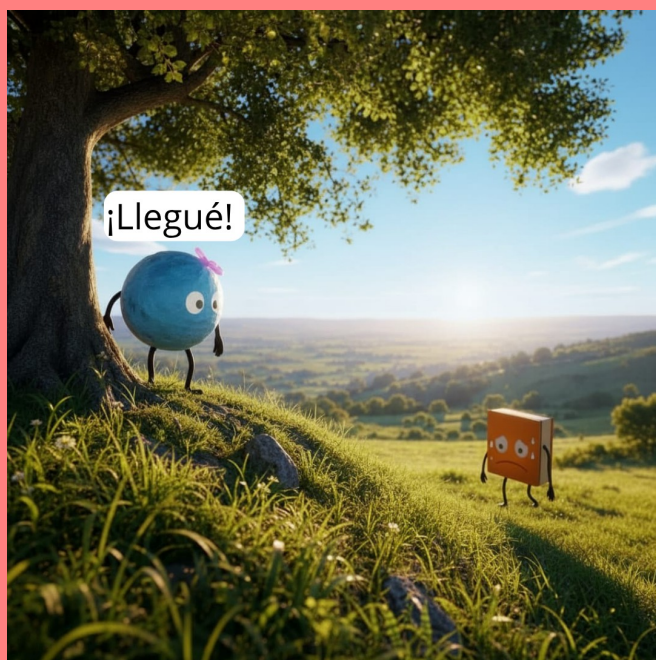


¡Esta subida es mucho más
difícil de lo que parecía!

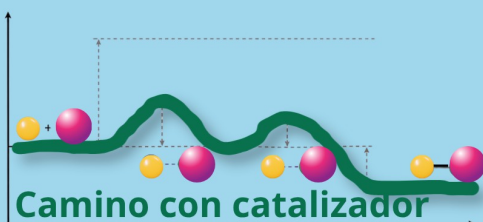
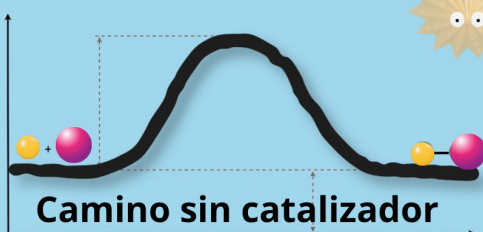


Mi camino es más largo, pero
puedo avanzar sin cansarme

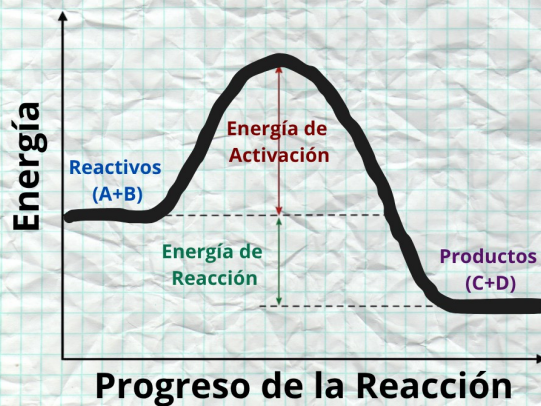




Lo que acaba de sucederles es muy parecido a lo que ocurre en la catálisis



En una reacción química, las moléculas también deben superar una "montaña" llamada energía de activación



Un catalizador actúa como el túnel: ofrece un camino más fácil para llegar al mismo lugar



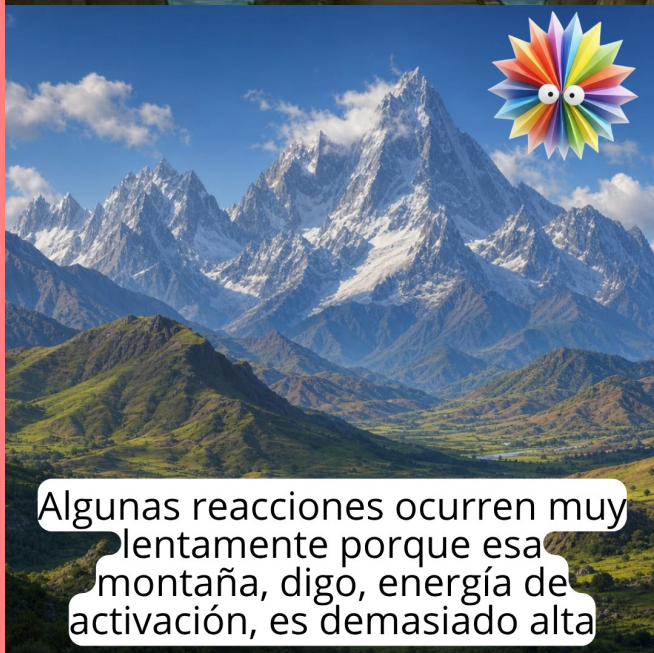
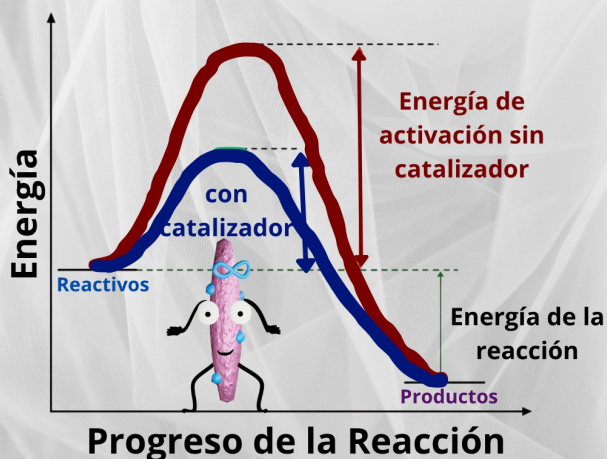
Entonces, ¿las reacciones también tienen que "escalar una montaña"? ¡Yo pensé que sólo las cabras hacían eso!



Los catalizadores ofrecen un camino por el que se pueda pasar la montaña sin subir tanto

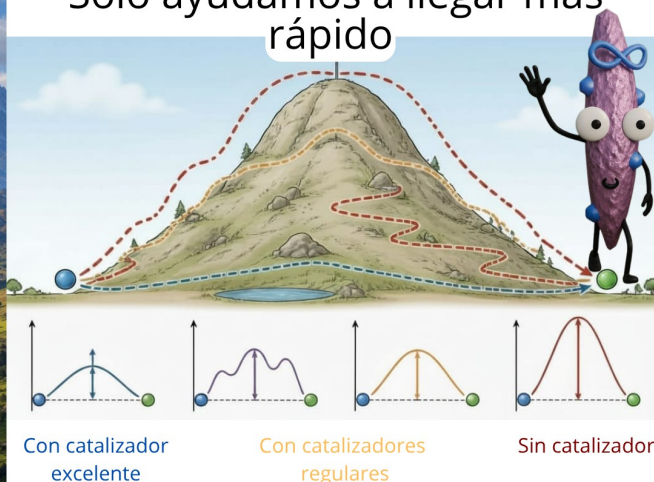


sin un catalizador, una reacción puede tener que superar una barrera de energía muy alta



Algunas reacciones ocurren muy lentamente porque esa montaña, digo, energía de activación, es demasiado alta

Lo importante es que los productos finales son exactamente los mismos. Sólo ayudamos a llegar más rápido



¿Y eso cómo ayuda a limpiar el agua?

¡Pues imagínate el pipí del que hablábamos!



Puede llevar el exceso de medicamentos que desechamos



Si dejamos esos compuestos en el agua, pueden tardar mucho en desaparecer



Pero... ¿qué tiene que ver eso con la luz?



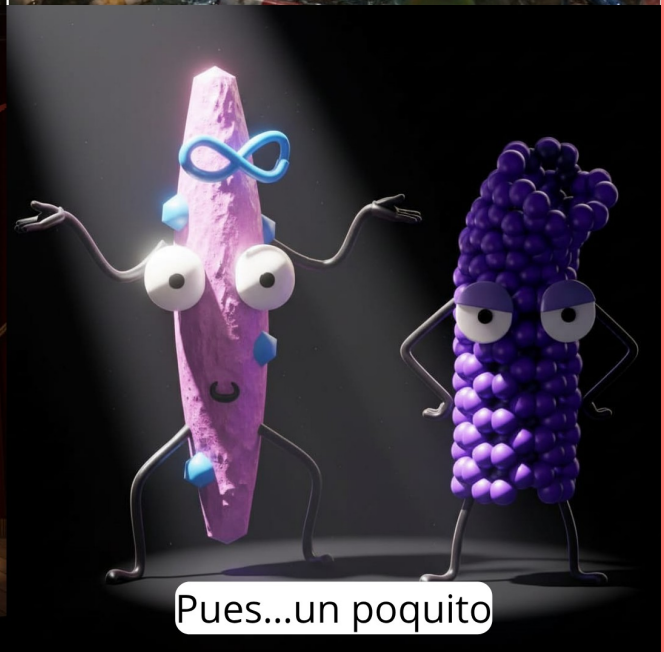
Con un catalizador podemos hacer que se degraden mucho más rápido



Y si usamos la luz del sol, es muy barato

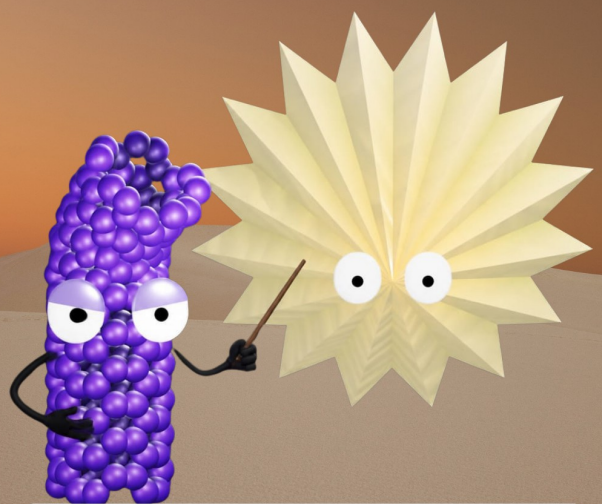
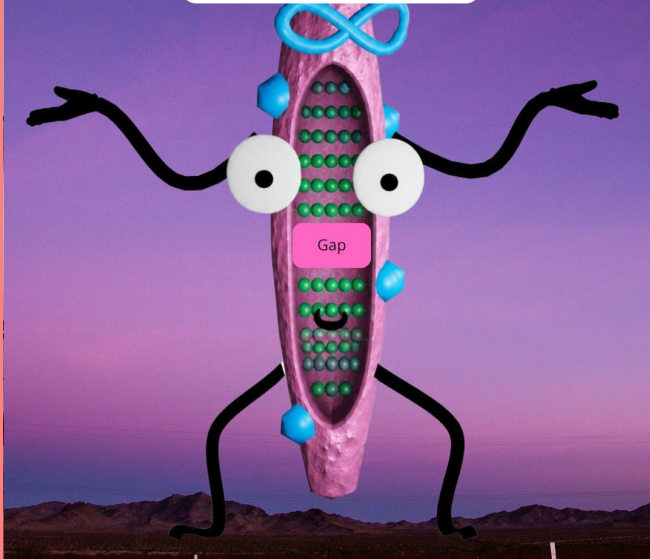


¿A poco?... ¿De verdad son tan especiales?



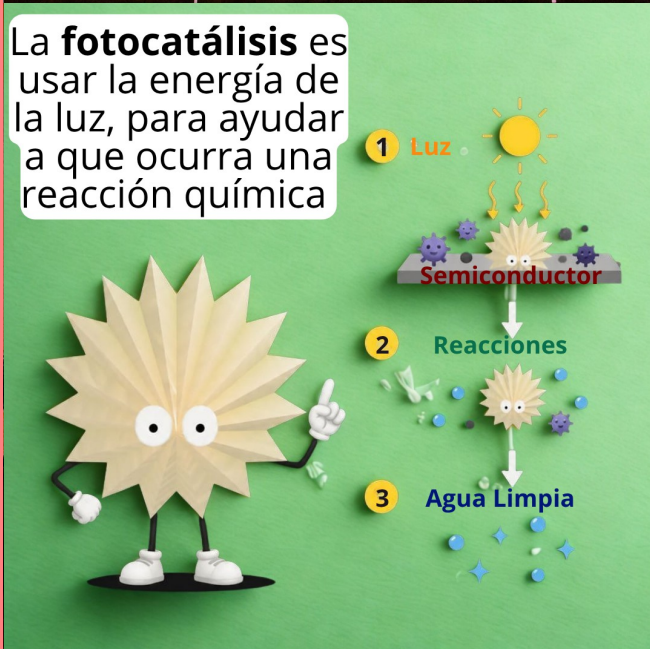
Pues...un poquito

Algunos de nosotros somos
semiconductores



Lo importante es que podemos
utilizar la energía de Luzito

La **fotocatálisis** es
usar la energía de
la luz, para ayudar
a que ocurra una
reacción química



Vamos entendiendo...

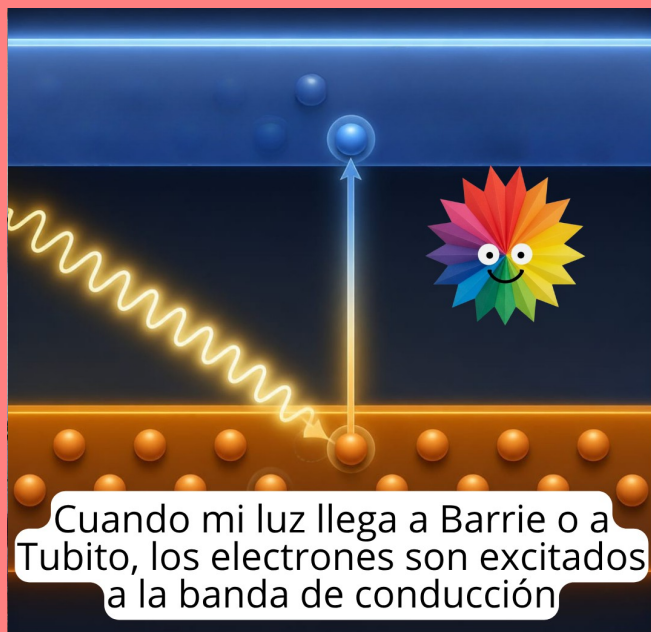


Los semiconductores que pueden
hacer este truco se llaman
fotocatalizadores



¿Y qué pasa cuando reciben esa
energía?





Cuando mi luz llega a Barrie o a Tubito, los electrones son excitados a la banda de conducción



¡Ya entendí! Ahora tenemos también un hueco en la banda de valencia



Entonces se forma una pareja: un electrón que puede moverse y un hueco que quedó atrás



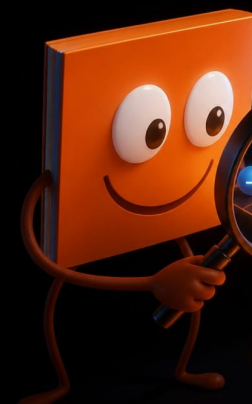
¡Exacto! Y los dos pueden participar en reacciones químicas



El hueco y el electrón trabajan en equipo



¡Claro! El hueco permite que otros electrones se muevan



Como en el juego de ordenar los números que se mueven

¿De qué juego hablas?



Uno que jugaban nuestros papás.
Eran letras o números en un
tablero que se podían mover
para acomodarse porque había
un hueco

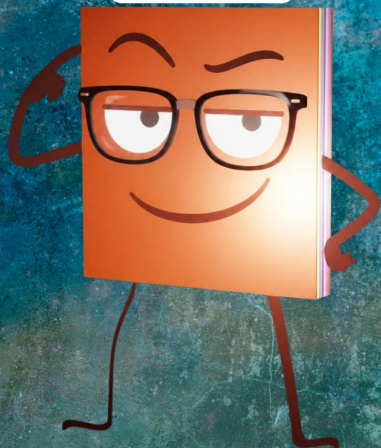
¡Amaneciste rabiosa!

Ahhh, bueno, luego nos lo
enseñas. Sigamos

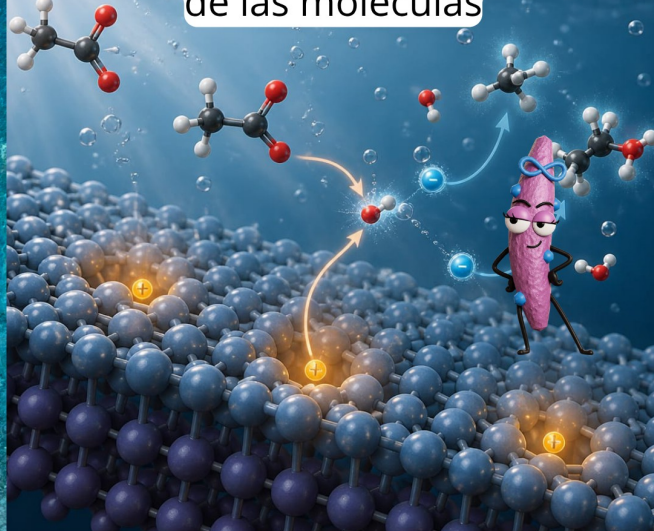
Sí, ¿verdad? Perdón, me puse de
malas por no entender



Eso ya lo aprendimos, la oxidación es cuando el compuesto pierde electrones



Y los huecos en la banda de valencia promueven la **reducción** de las moléculas



Reducción: cuando el compuesto gana electrones



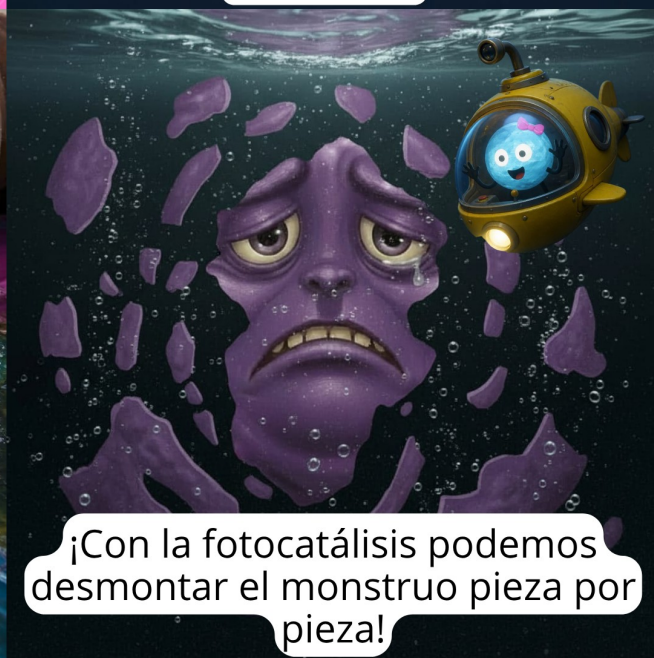
¿Moléculas como las de los colorantes?



¡Exacto!



¡Con la fotocatalisis podemos desmontar el monstruo pieza por pieza!



Algo parecido ocurre con algunos antibióticos disueltos en el agua



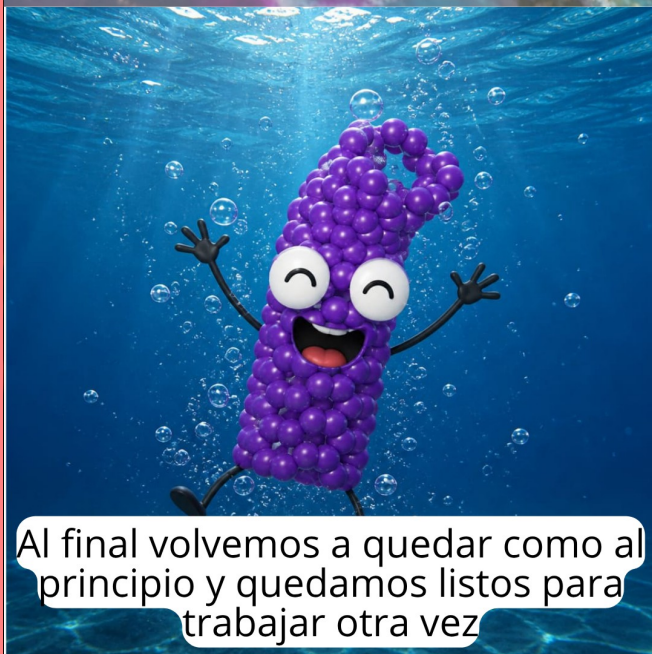
La fotocatalísis inicia una transformación química que convierte esas moléculas en otras mucho menos dañinas



¿Y Barrie y Tubito se quedan sin electrones?



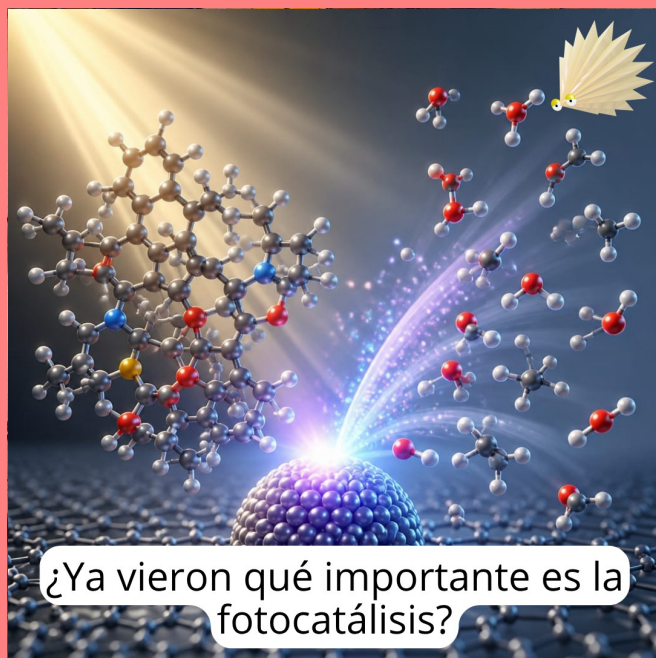
¡No! Durante las reacciones se transfieren electrones de muchos lados



Al final volvemos a quedar como al principio y quedamos listos para trabajar otra vez



Recuerden que somos buenos catalizadores



¿Ya vieron qué importante es la fotocatalisis?



La luz es la energía con la que se forman los pares electrón-hueco en los materiales

y ese par desencadena las reacciones que transforman a los contaminantes



Y el material semiconductor también es muy importante

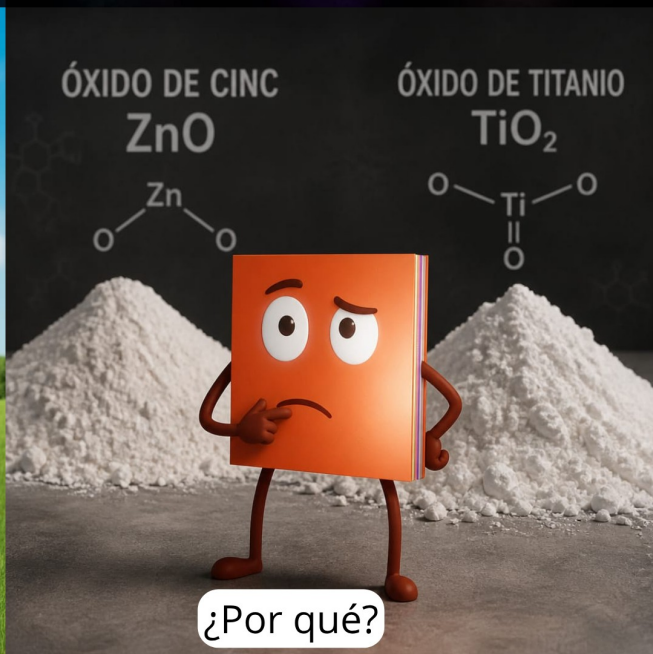


¿Y quién es el mejor de ustedes?



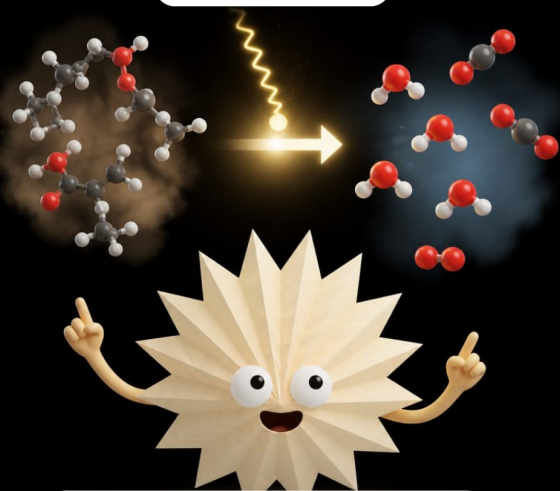
¡el óxido de zinc!

¡la titania!



¿Por qué?

No olviden...

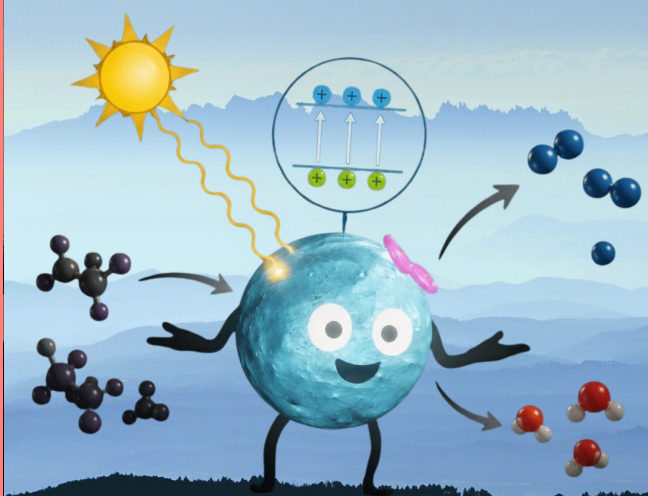


La meta es convertir los contaminantes en H_2O y CO_2

Y para eso, TiO_2 y ZnO son los mejores



Ya entendimos mucho más de la fotocatalisis



Recuerden...

AGUA CONTAMINADA
CON COLORANTES, MEDICAMENTOS
-Y PESTICIDAS-

AFFECTAN A LOS PECES
Y PROMUEVEN A LAS
SUPERBACTERIAS



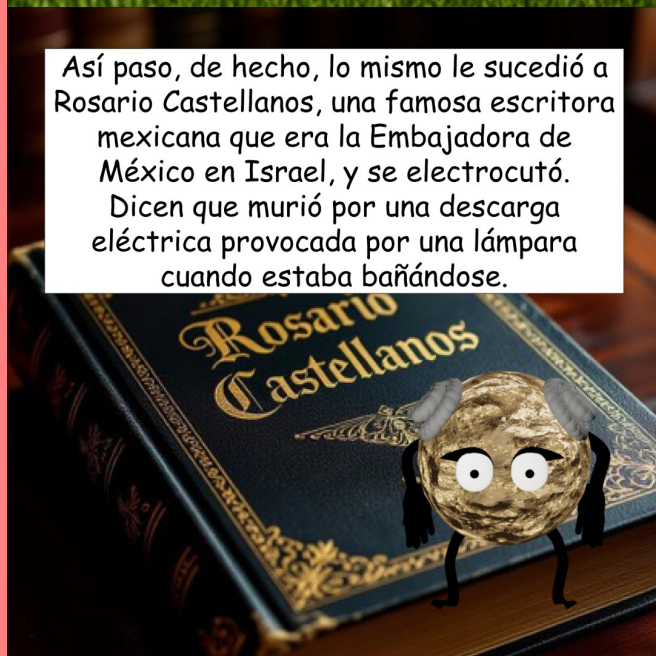
CUIDEMOS EL AGUA HOY, PARA PROTEGER LA VIDA MAÑANA

Tenemos soluciones, pero hay que evitar contaminar el agua



¿Ahora sí nos vas a contar el chisme?





MATERIALES AMIGABLES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

RECTOR

Leonardo Lomelí Vanegas

SECRETARIA GENERAL

Javier Hernández

COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

María Soledad Funes Argüello

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES

DIRECTOR

Diego Solís Ibarra

SECRETARIO ACADÉMICO

Jaime Enrique Lima Muñoz

CREADORES Y EDITORES

Ana Martínez

Sandra E. Rodil

Estrella Ramos

PRODUCCIÓN

Editor Digital: Hollow Games CO S.A. de C.V.

Ilustración: Sandra E. Rodil with NightCafe Studio y Celic Martínez

MATERIALES AMIGABLES, Año 4, No. 2, julio-diciembre 2026, es una publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, a través del Instituto de Investigaciones en Materiales, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, México. Tel. (55)56224500 y (55)56224581, <http://www.materialesamigables.com/difusion@materiales.unam.mx>. Editores responsables: Ana María Martínez Vázquez, Sandra Elizabeth Rodil Posada y Heriberto Pfeiffer Perea; Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2023-030611414000-102, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Sandra Rodil Posada, Investigadora Titular del Instituto de Investigaciones en Materiales, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Alc. Coyoacán, C.P.04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, 1 de enero de 2023.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del Editor o de la UNAM.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.