



Seminario

Ciencia y Tecnología para la Economía del Hidrógeno

**Producción química a partir de agua
¿El camino más corto?**

José L.G. Fierro
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC
Madrid

Madrid, 17 Octubre 2007

Producción industrial de hidrógeno

- tecnología establecida basada en combustibles fósiles
- cuatro procesos industriales
 - reformado del gas natural*
 - gasificación de carbón*
 - gasificación de residuos*
 - cracking de metanol*

Emisiones masivas de CO₂



e.g. 1 Tm de H₂ producido a partir del gas natural produce ca. 7 Tm CO₂

Tecnología clásica: precursores fósiles

Reacciones con co-producción de CO₂

- reformado de GN
- oxidación parcial
- reformado autotérmico
- gasificación de carbón y residuos pesados HCs
- status de reformadores pequeños

Reacciones de producción de H₂ libre de CO₂

Alternativas neutras en emisiones de CO₂

Reacciones secundarias de producción de H₂

WGS

PROX

Hydrogen Production Reactions from Carbon Feedstocks: Fossil Fuels and Biomass, R.M. Navarro, M.A. Peña, J.L.G. Fierro, Chem. Rev. (2007), in press

Energía alternativa

- Fuerza conductora
sostenibles
renovables
no contaminantes

Tipos y cantidades

Solar (420.000)

Eólica (880)

Hidro (4.8)

Biomasa (250)

Geotérmica (77)

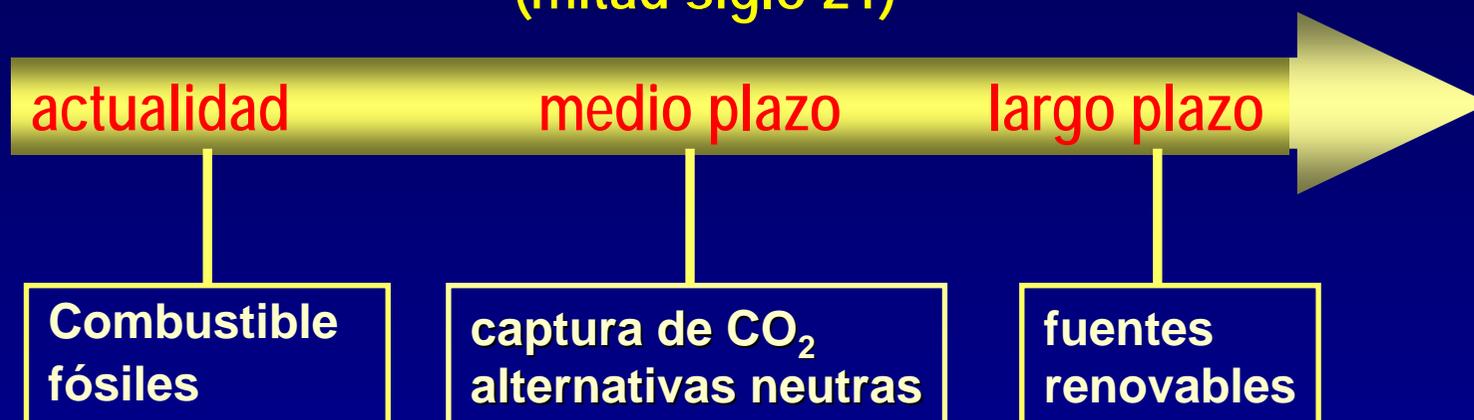
Oceánica (olas, mareas) (7.2)

etc. (50)

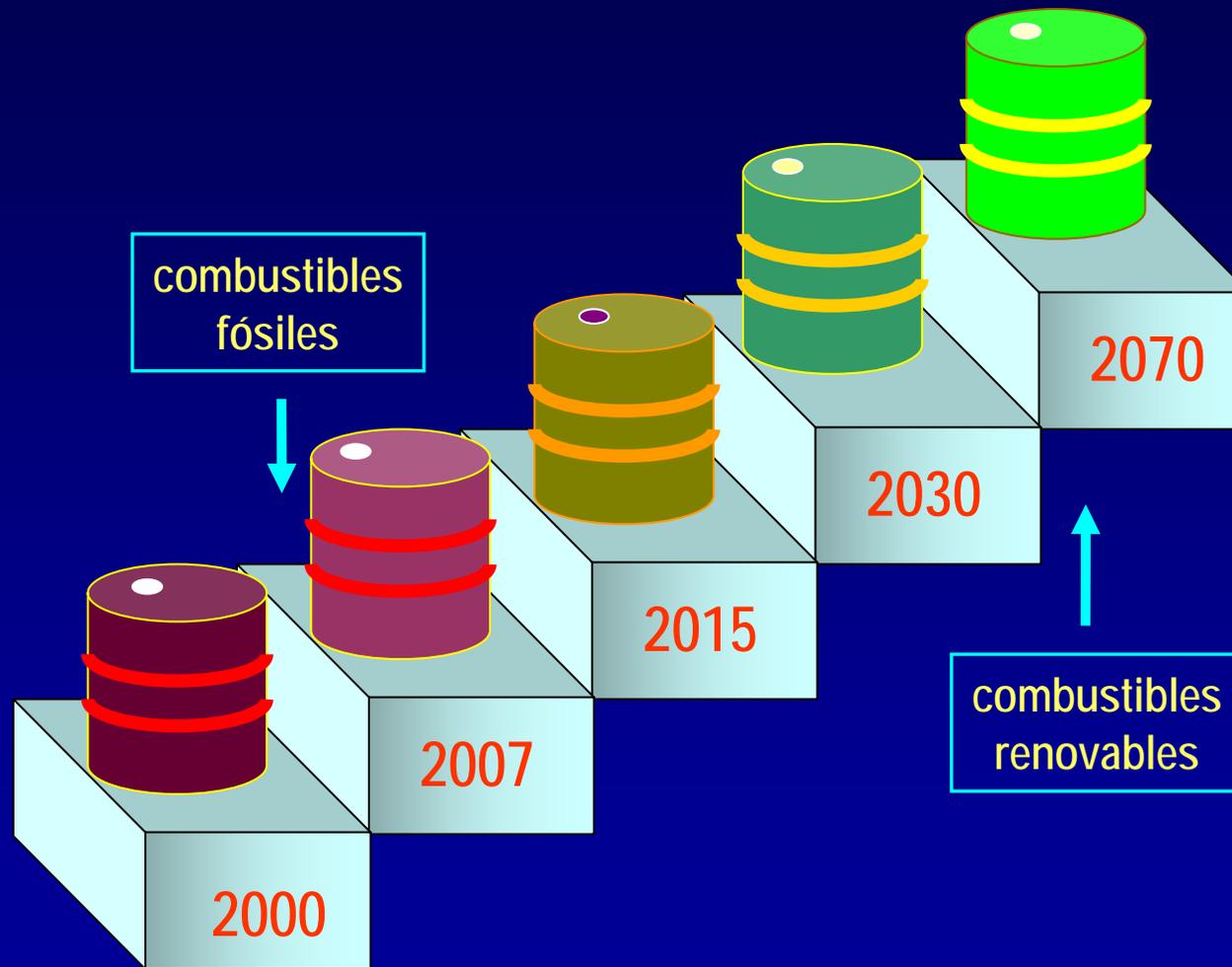
Total energía consumida en 2000: 1.0×10^{18} kcal
(es la cantidad de radiación solar en 1 h)

Tendencias esperadas en producción de hidrógeno

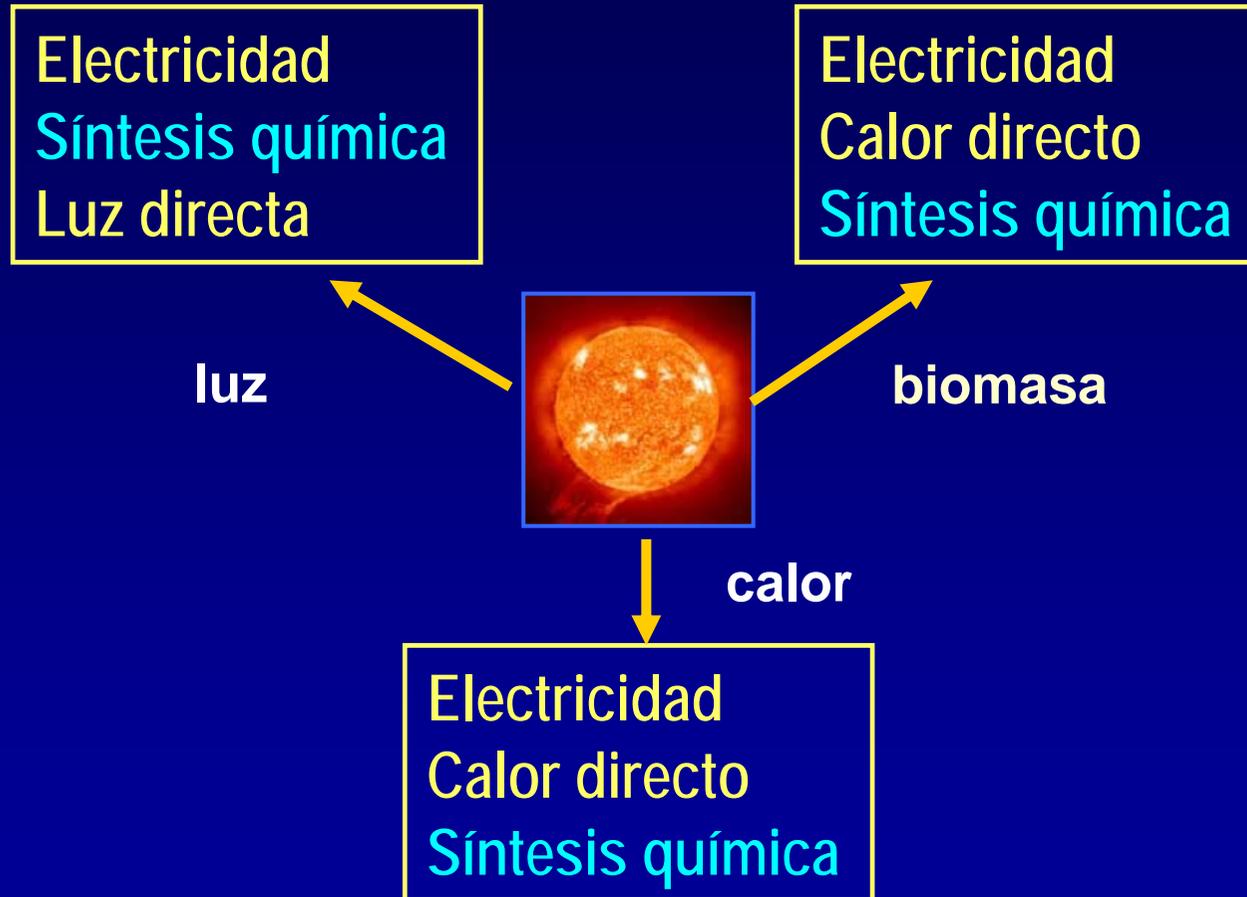
(mitad siglo 21)



Evolución de los combustibles de transporte



Fuentes de energía solar



La energía del Sol



Balance de energía

- La energía solar que llega a la Tierra es cercana a 7×10^{17} kW.h/a
- Solo se usa 1/8200 de esta energía



Perspectiva:

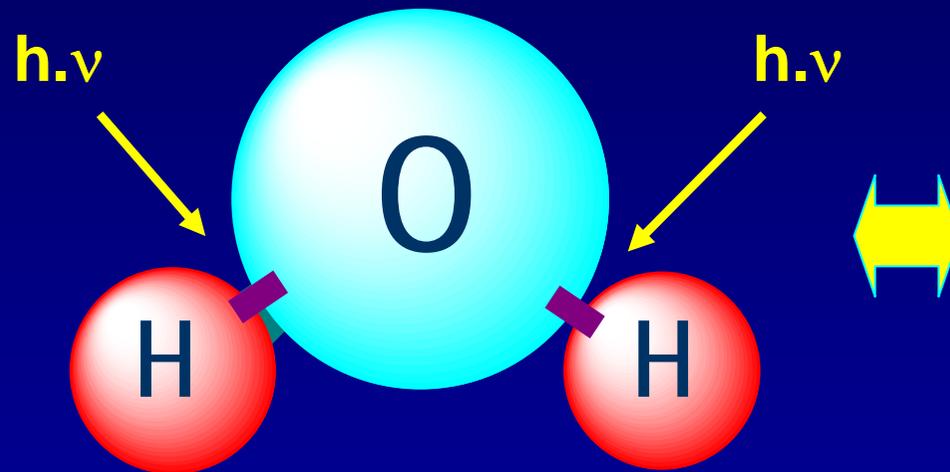
- Existe gran cantidad de energía solar en la Tierra no convertida



Reto:

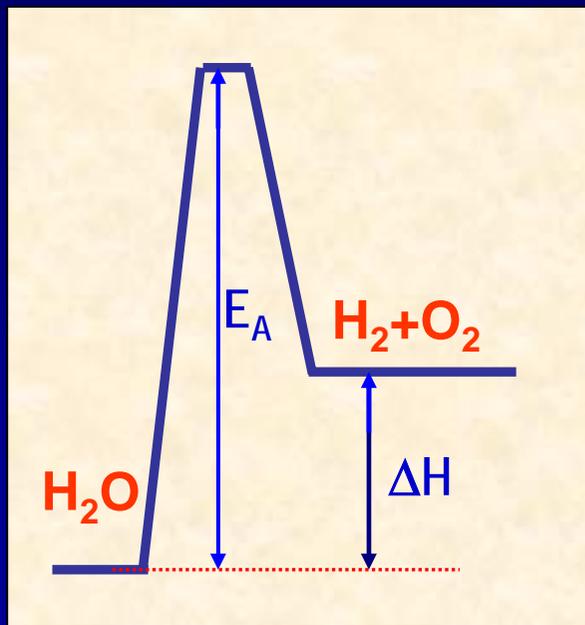
- Convertir la energía solar térmica en energía estructurada

puede generarse hidrógeno a partir de agua utilizando los fotones del espectro visible?



La fotólisis del agua implica la rotura de dos enlace H-O muy energéticos

Barrera energética en la fotólisis de agua



$$\Delta H^\circ = 58.1 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = 53.0 \text{ kJ/mol}$$



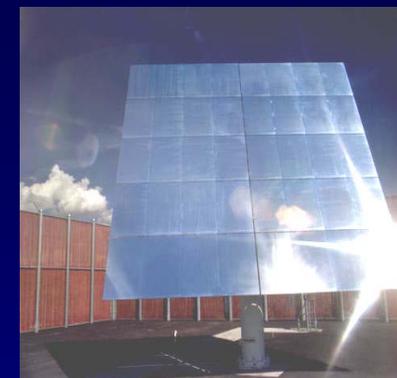
ΔG es negativa a
a 2700 K y 1 bar



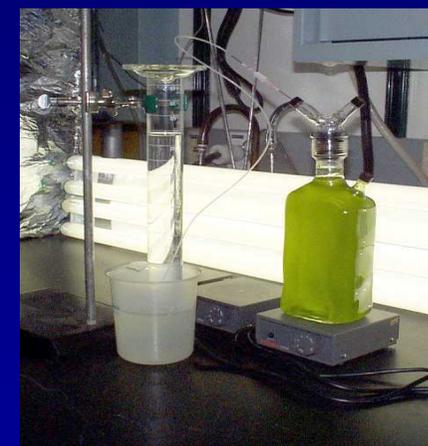
A 2300 K solo 1% H_2
aparece en la fase gas

Fotólisis directa del agua

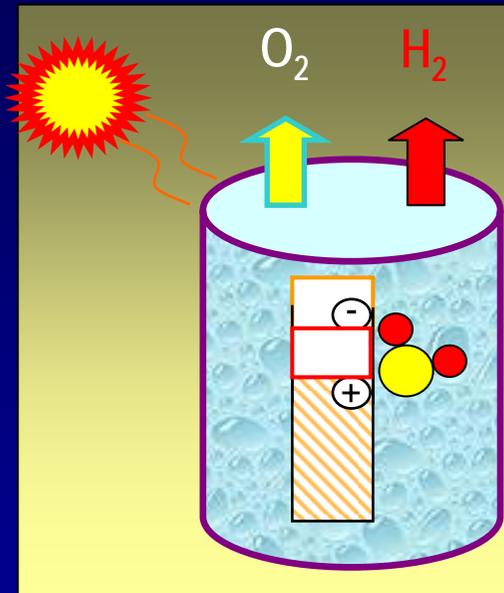
La luz visible tiene energía suficiente para romper la molécula de agua en hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂):

$$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$$


- Los sistemas foto-electroquímicos y las algas fotosintéticas usan la luz solar para producir H₂ directamente del agua
- El calor producido por energía solar concentrada puede romper la molécula H₂O



Ruptura de la molécula de agua en H_2 y O_2

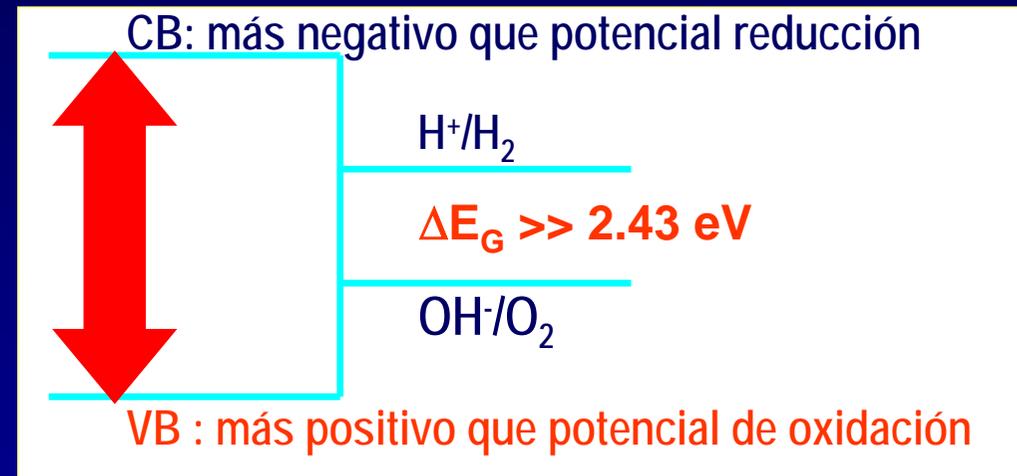
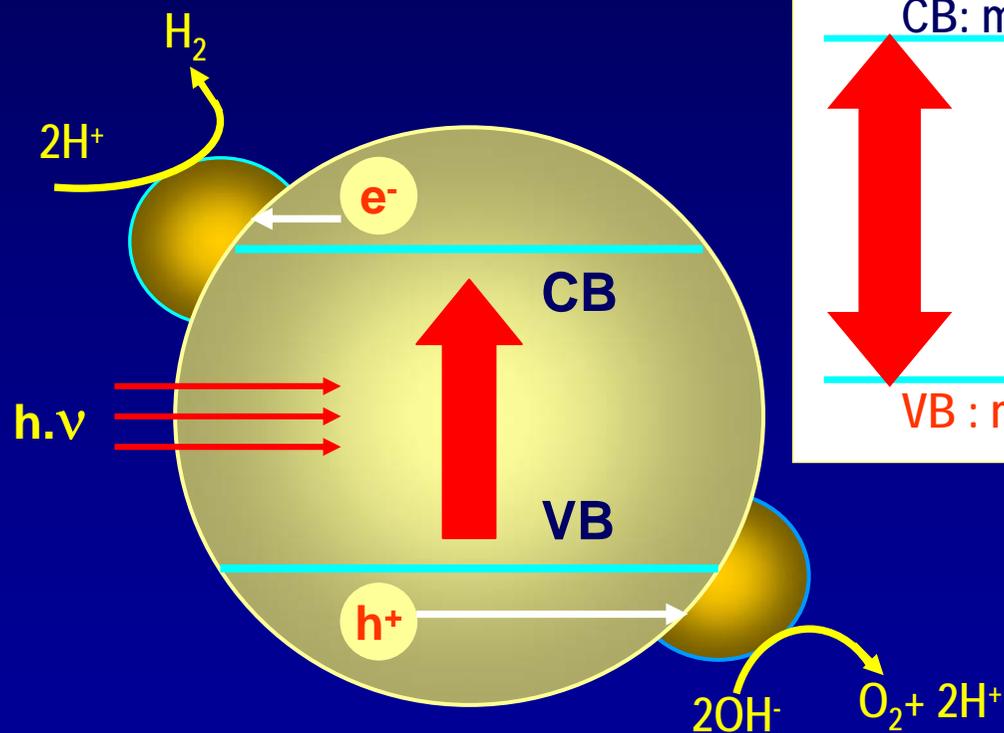


- Integración funcional a nanoescala
- **transferencia molecular de energía y carga**
- 6-18% de eficiencia en el laboratorio

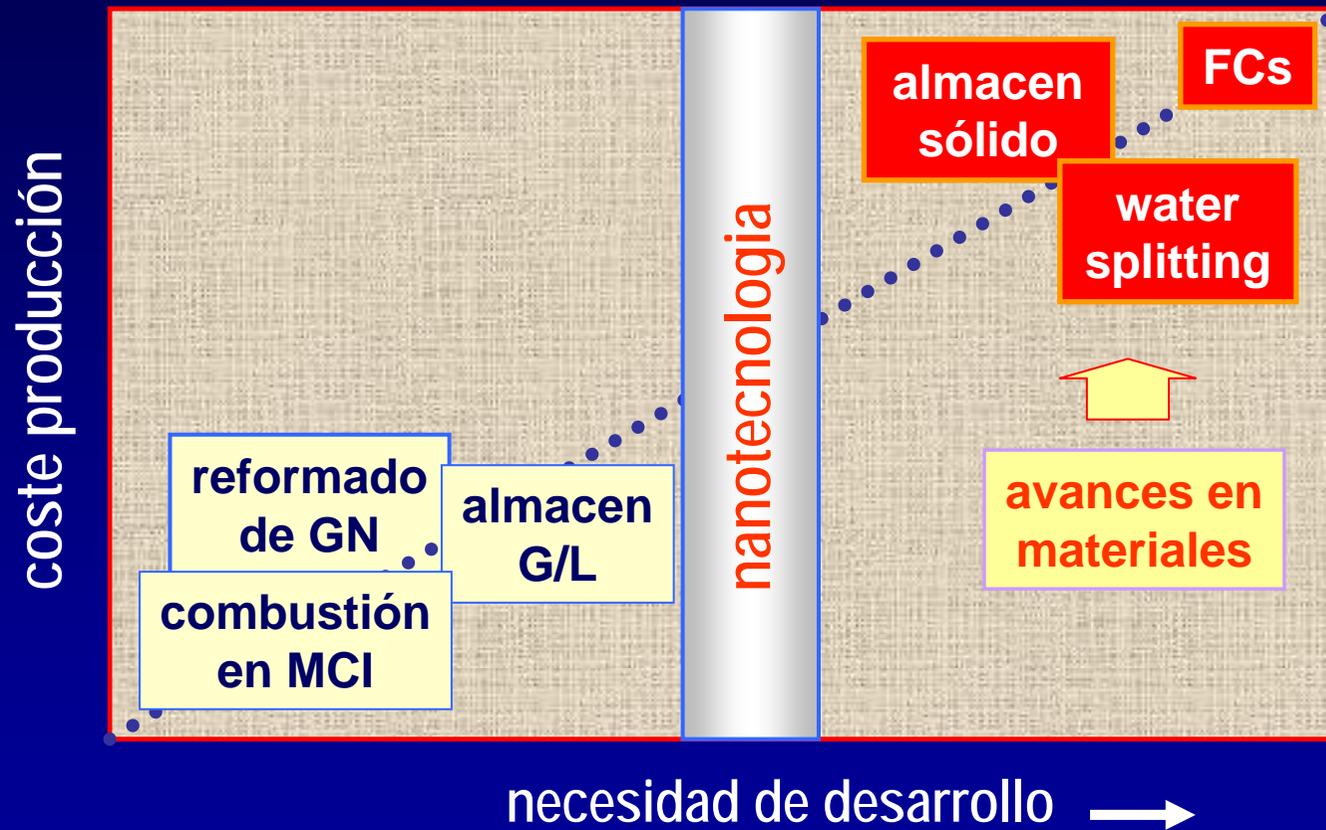
Agua: fuente abundante, no restricciones geopolíticas, respeto con el ambiente

Requerimientos energéticos de los fotocatalizadores WS

Requerimientos energéticos



Las dos economías del hidrógeno



Conclusión

- Algunos semiconductores son capaces de producir H_2 por fotólisis de agua con luz solar
- La energía del bandgap del semiconductor es un requerimiento esencial para tener actividad
- La actividad fotocatalítica depende, entre otros factores, de la estructura de la masa y las propiedades electrónicas
- La superficie y los defectos cristalinos también deben considerarse