



## Diseño de un proceso de lixiviación

1.-

Elección del agente lixivante (solvente)

2.-

Tipo de proceso químico a usar

3.-

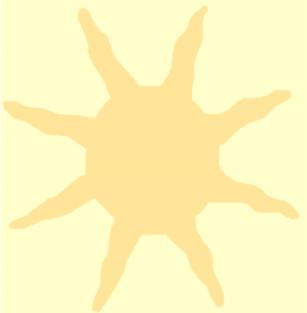
Tipo de operación física a emplear

4.-

Elección del equipo de lixiviación industrial

5.-

Recuperación del metal disuelto





#### 4. Elección del equipo de lixiviación metalúrgica

- depende del tipo de operación física  
(en pilas, en botadero, a presión, agitación mecánica, etc.)

#### 5.- Recuperación del metal disuelto



- \* Regulado por principios químicos, tanto la “recuperación” de un elemento o compuesto principal o la “remoción” de alguna impureza.

## a) Electrowinning:

(EW), es la depositación electrolítica de un metal valioso presente en la solución.

- Proceso muy eficiente, muy selectivo, da lugar a un “producto puro” (depósito en hojas), muy comercial como “cátodos” u otras formas (barras, alambre, etc.)

**Pero es muy caro**

**Instalación (planta)**

**Mantenimiento y Operación (En. El.)**

**Cu<sup>0</sup>: CuSO<sub>4</sub> (25-40) g/L Cu<sup>2+</sup>, 100 g/L ácido libre (electrolito)**

**Intensidad corriente = 200 amp/m<sup>2</sup>; ánodos: aleaciones Pb-Sb**



## Circuito Ideal:

**Lixiviación**  $\longrightarrow$  **SX**  $\longrightarrow$  **E.W.**

b) Precipitación (cristalización)

$\Delta$  temperatura

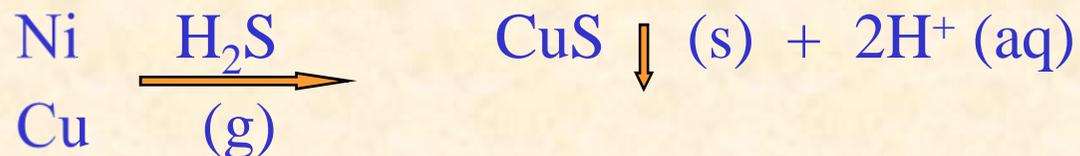
$\Delta$  pH

$\Delta$  concentración

•) Ej. Proceso Bayer



••) Separación impurezas de Cu en producción de Ni:





•••) **Solución de lixiviación**

**CuO / H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

**Cu SO<sub>4</sub> (ac)**

evaporación  
→  
- Δ t

**Cu SO<sub>4</sub>•5H<sub>2</sub>O ↓ (s)**

**¡ Precipitación no es muy selectiva!**

### c) Cementación

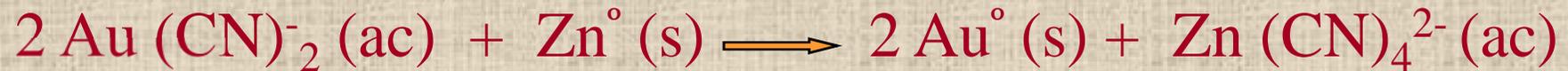
**Remoción de un metal desde una solución desplazándolo de sus compuestos por uno más activo. (de mayor tensión)**

Ej. 1) Recuperación de Cu desde soluciones diluidas: 1-3 g/L  
con chatarra de Fe o Sn (hojalata)



- en tambores rotatorios o en bateas de concreto
- proceso lento, de eficiencia limitada.
- se ha encarecido por “escasez de chatarra”

**Ej 2): Precipitación de Au desde soluciones cianuradas usando polvo de Zn**



**Ej.3) Remoción de impurezas de “menor tensión” que el metal procesado:**

**Ej.: remover Cu, Cd, Co, Ni de soluciones de  $\text{Zn}^{2+}$  previas al proceso de E.W.**



**Serie Tensiones:**

**$\text{K} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Fe} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{H} > \text{Cu} > \text{Ag} > \text{Au}$**



## d) Reducción Gaseosa

Se emplea un gas reductor, produciendo el metal al estado “polvo”, fácilmente separable de la solución.

**Agentes reductores: CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>**

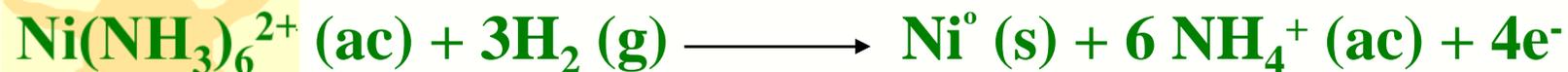
Han sido usado para precipitar Cu, Ni, Co.

H<sub>2</sub> es el más aplicable a escala industrial

Ejemplo: precipitación de Ni en proceso Sherritt-Gordon:



Recuperación:



Se realiza en autoclave a 200°C y 30 atm con gas hidrógeno.

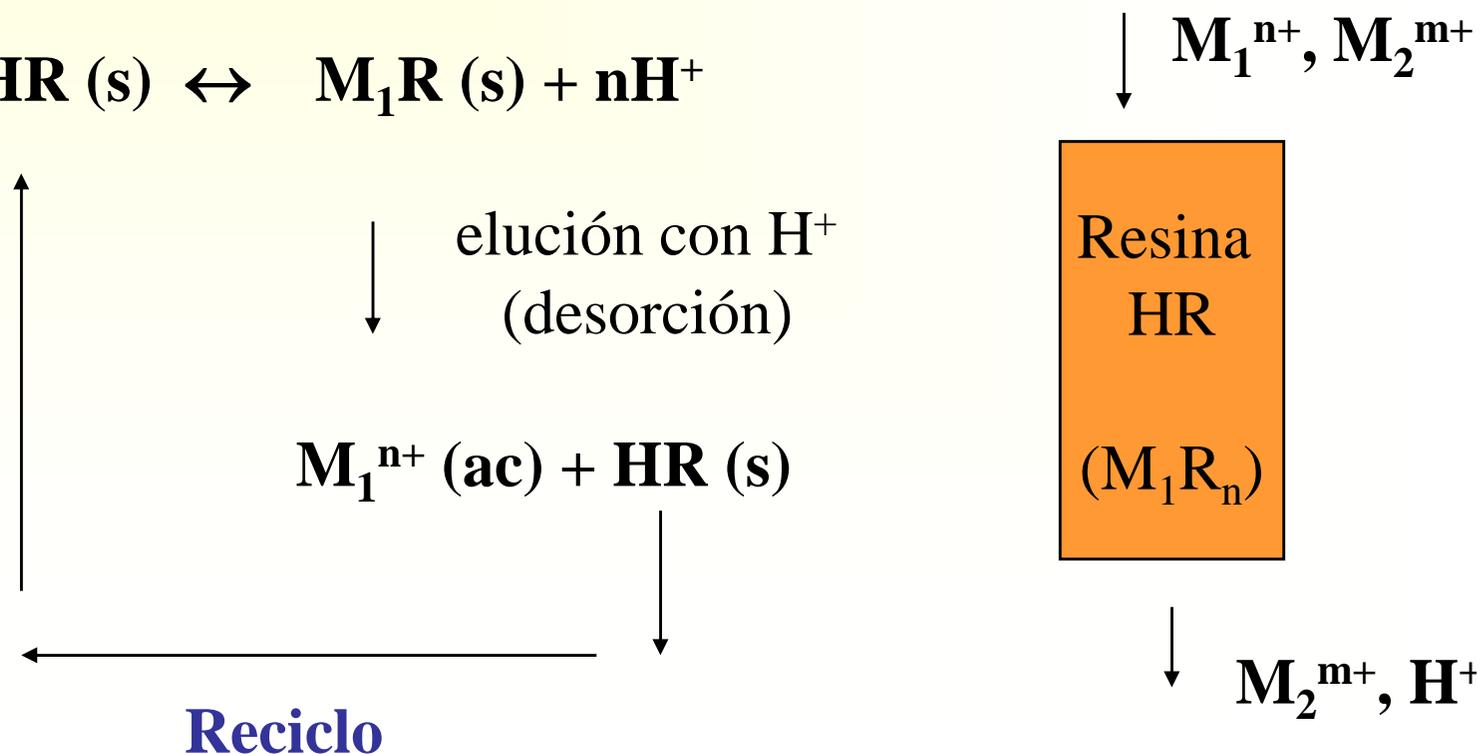
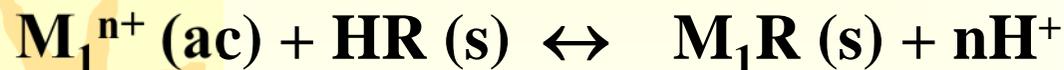


## e) Intercambio Iónico: IX (Ion eXchange)

Iones metálicos se pueden remover de una solución acuosa mediante intercambio con iones en la superficie de una

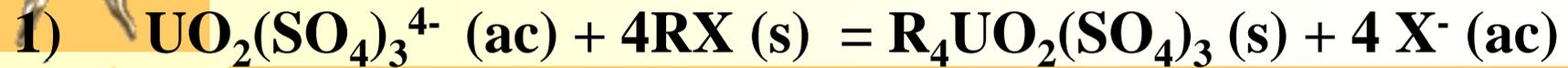
*“resina orgánica sólida”*

Existen resinas comerciales **aniónicas** y **catiónicas**



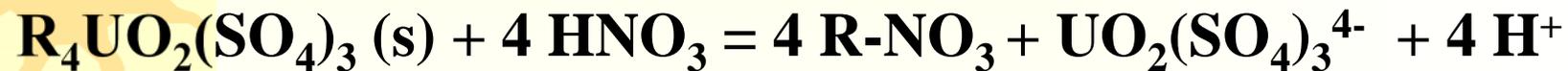


Ej.: Resinas IX aniónicas para concentración y purificación de soluciones diluidas de uranio, obtenidas al lixiviar minerales de U con ácido sulfúrico



Donde  $\text{X}^- = \text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y R : resina orgánica

2) Después de cargada la resina, se eluye (separa) el metal con una solución altamente concentrada en  $\text{X}^-$ , así se recupera el metal y se regenera la resina.



↙  
puro

Son resinas altamente selectivas, base es Trat. Aguas para calderas  
- se pueden aplicar en columnas o RIP (resin in pulp)



**Resinas fuertemente ácidas, regeneradas con  $\text{H}_2\text{SO}_4$**

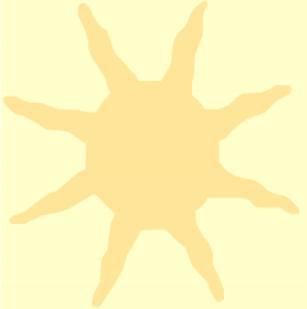
Donde X: matriz polimérica orgánica

(Dowex, Duolite, Amberlite, etc)

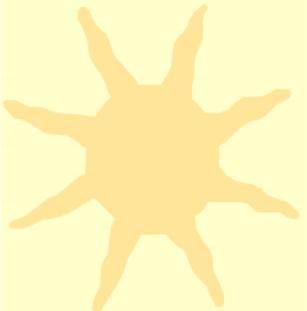
**Inconvenientes: proceso lento, baja cinética de reacción, desorción es engorrosa, lo que la limita a tratamiento de bajos volúmenes de solución**



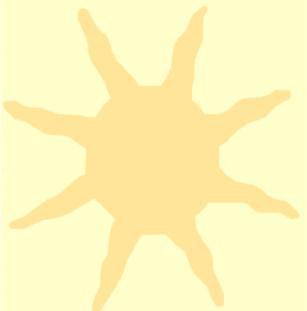
## f) Extracción por solventes: SX (Solvent eXtraction)



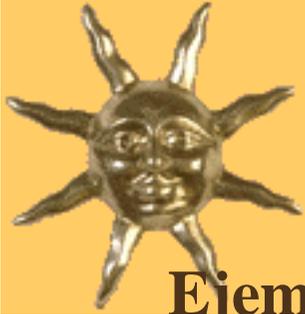
Es extracción líquido-líquido, data de 1960, absolutamente vigente y en claro desarrollo.



Técnica muy selectiva,  
de fácil manejo y que opera en  
circuito cerrado, con sólo  
Fases Líquidas



Basado en la reacción química entre  
el *Metal* en solución y  
una molécula *extractante* orgánica



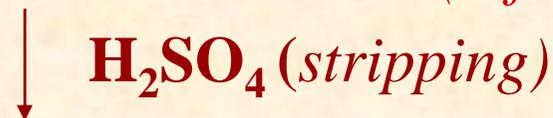
## Mecanismo controlado por:

- 1) **Reacción química (equilibrio, cinética)**
- 2) **Transferencia de Masa (difusión molecular)**

**Ejemplo: Cobre con reactivos LIX ( $\beta$ - hidroxioximas, HX)**

Concentra: 1-3 g/L Cu(II)  $\xrightarrow{\text{SX}}$  40 g/L  $\rightarrow$  E.W. (cátodo)

Purifica: elimina impurezas (Fe, Al, As, Ca, Mo, Zn, .....)



**reciclo**



## RECOVERY OF COPPER BY SOLVENT EXTRACTION

