



Departamento de  
Ingeniería Química y  
Tecnología Farmacéutica  
Universidad de La Laguna

# Tema 6: Procesos de eliminación de iones y materia orgánica

Tecnologías de Tratamiento y de Gestión de las Aguas

Oliver Díaz López

Elisabet Segredo Morales

Enrique González Cabrera



# ÍNDICE

---

1. [Intercambio iónico](#)
2. [Adsorción](#)





**Intercambio iónico**

# INTRODUCCIÓN

## Objetivos del intercambio iónico

- Su principal objetivo es eliminar el contenido inorgánico del agua
- Si el objetivo es eliminar de manera global sales disueltas es mejor implementar sistemas de desalación

## Fundamentos

- El intercambiador iónico (la resina) presenta un ion móvil que es intercambiado por un ion no deseado en el agua
- El agua circula por un lecho hasta que el lecho se “satura” y se obtiene un producto no adecuado
- Una vez que la resina se satura se realiza una regeneración empleando un exceso del ion móvil
- En la resina no existe ningún cambio estructural permanente, por tanto, el sistema se puede reutilizar

## Volumen de lecho o Bed Volume (BV)

- Parámetro que se emplea para medir el caudal de agua tratada en un lecho
- Permite comparar diferentes lechos con volúmenes distintos
- Equivale a cuantos volúmenes de lecho equivalente pasan por la resina

### CATIONES

- Calcio
- Magnesio
- Radio
- Bario
- Estroncio
- etc

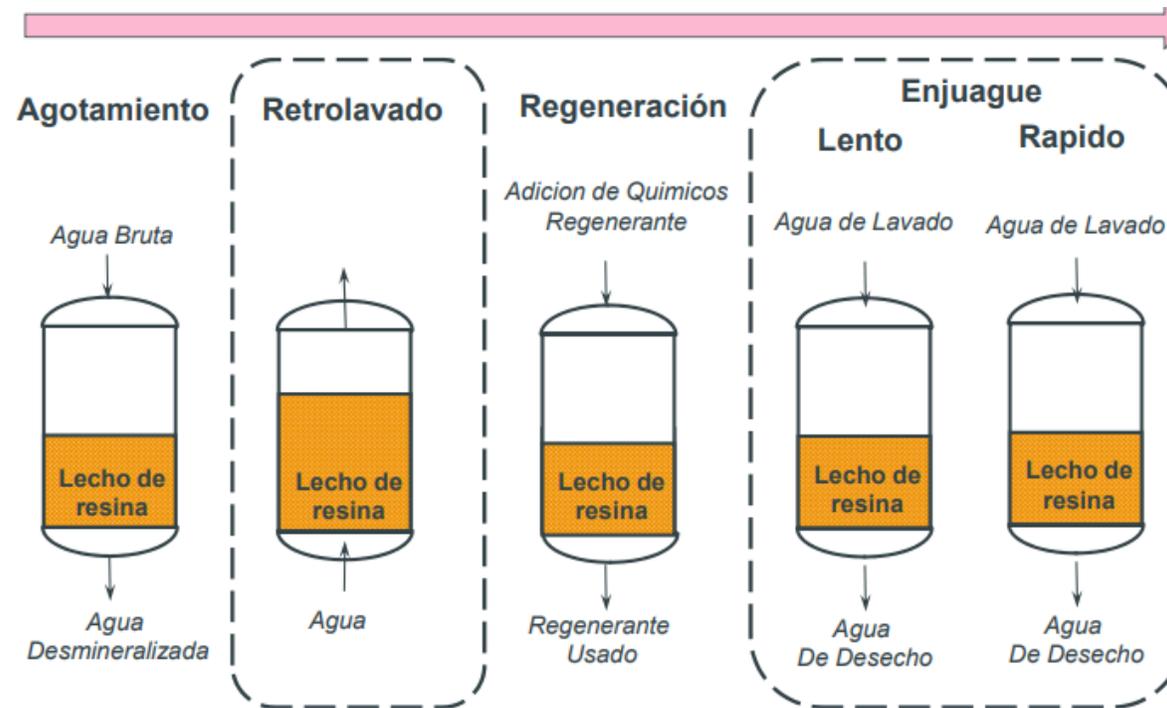
### ANIONES

- Fluoruros
- Nitratos
- Sales de selenio
- Cromatos
- Perclorados
- etc

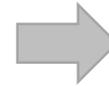
$$BV = \frac{Q_0 t_{trabajo}}{V_{lecho}}$$

# INTRODUCCIÓN

## Funcionamiento



Un sistema de intercambio iónico permite el tratamiento de 300 – 300.000 volúmenes de lecho (Bed Volume, BV) antes de su saturación



En el proceso de regeneración se puede emplear 1 – 5 BV y un proceso de enjuague de 2 – 20 BV

# INTRODUCCIÓN

## Ventajas e inconvenientes

### VENTAJAS

- Operación relativamente sencilla
- No se ve afectado en las oscilaciones de caudales
- Tiempo de residencia hidráulico corto
- Se produce pocos flujos de rechazo
- Diseños adaptados para cada tipo de resina

### INCOVENIENTES

- Punto de ruptura
- Calidad del efluente variable
- No se puede emplear en presencia de sólidos o concentraciones altas de coloides
- Volumen de regeneración empleado
- No es idóneo para aguas con alto contenido salino

## Usos

- Los sistemas domésticos de potabilización suelen contener un absorbedor o sistemas centralizados resinas de intercambio iónico
- En los sistemas industriales se suele emplear para alcanzar valores bajos de dureza
- Eliminación de cationes o aniones concretos
- Es necesario analizar la capacidad de intercambio de la resina, así como su regeneración
- La presencia de otros iones puede interferir en el intercambio del ion (selectividad)

# RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

---

## Definición

- Una resina es una matriz de un polímero reticulado el cual posee grupos funcionales unidos mediante enlaces covalentes
- La matriz habitual es el poliestireno reticulado dopado con un 3 – 8 % de divinilbenceno para dar resistencia mecánica
- Las resinas se pueden clasificar atendiendo al tipo de ion intercambiado

## Resinas catiónicas

- Contienen grupos funcionales como el ácido sulfónico (-SO<sub>3</sub>H) o el carboxílico (-COOH).
- Funcionan bien en todo el rango de pH y son muy eficaces para eliminar cationes fuertes como Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>.
- Usadas comúnmente en procesos de desmineralización o ablandamiento del agua.

## Resinas aniónicas

- Contienen grupos funcionales como el amonio cuaternario o aminas terciarias
- Son muy eficaces para eliminar aniones como cloruros, nitratos y sulfatos.
- Usadas comúnmente en procesos de desmineralización

# RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

## Capacidad de intercambio

- Se mide como la capacidad de intercambio de la resina
- Número de sitios de carga fija por unidad de volumen o peso de la resina
- Normalmente cada fabricante información sobre la retención para cada tipo de ion

## Clasificación

Se clasifican atendiendo:

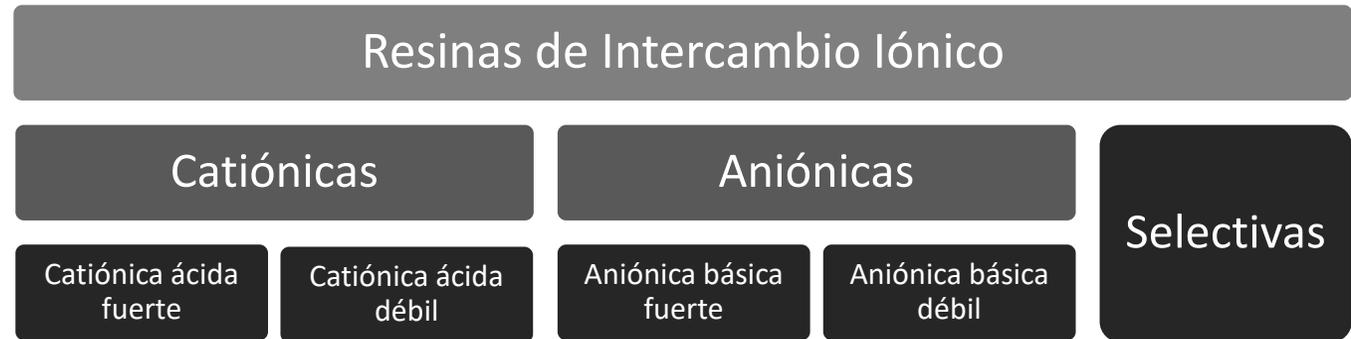
- Tipo de ion móvil
- Tipo de grupo funcional

### Resinas catiónicas

- Resina que intercambian cationes con el medio
- Ion móvil: catión ( $H^+$ ;  $Na^{2+}$ )
- Ion fijo permite clasificarlas en dos tipos:
  - Catiónica ácida fuerte: ácido fuerte como el sulfonato  $SO_3^{-2}$
  - Catiónica ácida débil: ácido débil como el carboxilato ( $COO^-$ )

### Resinas aniónicas

- Resina que intercambian aniones con el medio
- Ion móvil: anión ( $OH^-$ )
- Ion fijo permite clasificarlas en dos tipos:
  - Aniónica básica fuerte: base fuerte como las aminas cuaternarias
  - Aniónica básica débil: base débil como las aminas terciarias



# RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

## Resinas selectivas

- El tipo de resina es ilimitado debido a la combinación de diferentes polímeros como base fija y a la actuación química para desarrollar diferentes porosidades.
- Se están desarrollando resinas adaptadas a la solución indicada

Tipo de resina	Grupo Funcional	Aplicación
Quelante	Iminodiacéticas	Retención selectiva de metales pesados y de transición
Quelante	Aminofosfóricas	Eliminación de cationes de bajo peso molecular
Quelante	Tiouronio	Selección de metales pesados como el mercurio
Quelante	Poliamina	Eliminación de metales pesados a nivel de trazas y complejos metálicos aniónicos de alto peso molecular
Quelante	Aminoxima	Eliminación de cobre y hierro procedente de aguas con bajo pH
Específicas de boro	N-metilglucamina	Retención de boro
NSS	Amina cuaternaria	Eliminación de nitratos en aguas sulfatadas
SAC-Ag	Sulfónicas	Ablandamiento del agua con propiedades bactericidas
Específicas Yodo	Amina cuaternaria	Unidades de desinfección

# COEFICIENTES DE SELECTIVIDAD Y FACTORES DE SEPARACIÓN

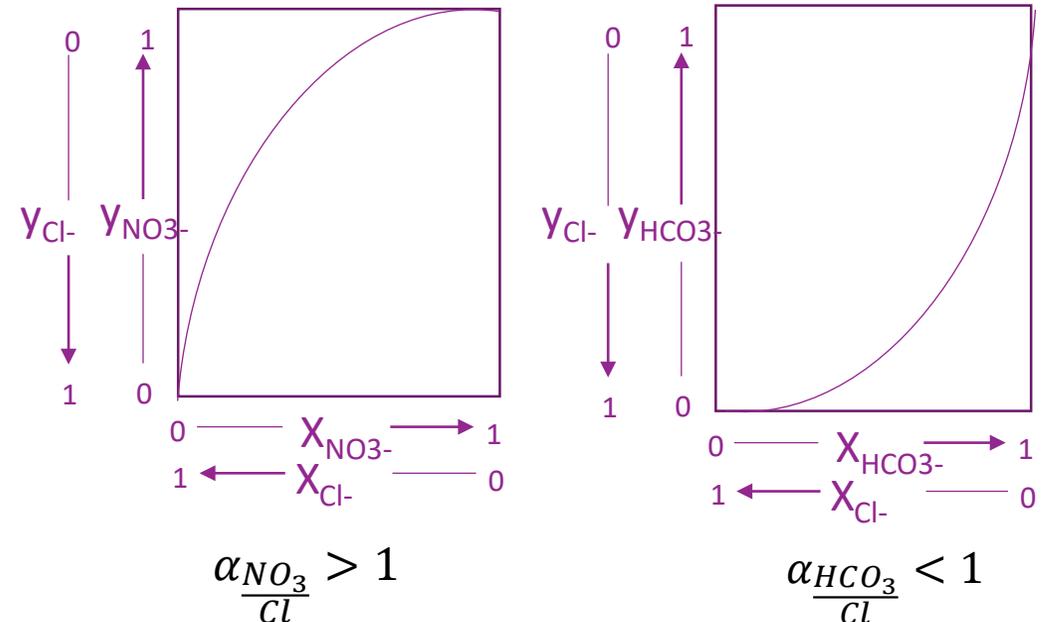
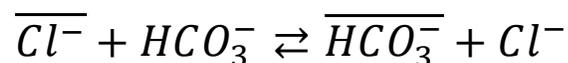
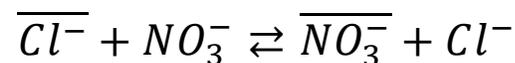
## Selectividad

- Las resinas no retienen todos los iones por igual
- En muestras reales donde existen diferentes iones, puede existir interferencias para retener el ion deseado
- Los fabricantes de resina proporcionan tablas de preferencia y selectividad de iones de las resinas

## Coeficiente de selectividad ( $\alpha_{ij}$ )

- La selectividad mide la duración del ciclo de retención
- Cuanto mayor sea la selectividad, la duración del ciclo es mayor
- Normalmente se establece este factor comparando dos iones: el ion a retener y el ion móvil
- Las fracciones molares (y) hacen referencia a la fracción en la resina
- Las fracciones molares (x) hacen referencia a la fracción en la solución

$$\alpha_{ij} = \frac{\text{Distribución del ion } i \text{ entre fases}}{\text{Distribución del ion } j \text{ entre fases}} = \frac{\frac{y_i}{x_i}}{\frac{y_j}{x_j}}$$



# COEFICIENTES DE SELECTIVIDAD Y FACTORES DE SEPARACIÓN

---

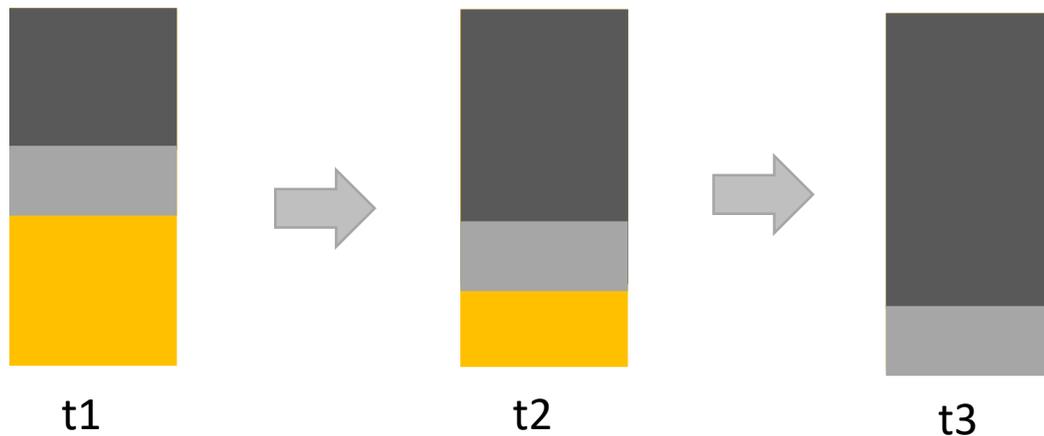
## Secuencias de Selectividad

- Las secuencias de selectividad de las resinas describen el orden en el que algunos iones se retienen sobre la resina con respecto a otros presentes en la solución
- La naturaleza del ion afecta a su selectividad
  - **Iones hidrófobos ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{CrO}_4$ ) prefieren:**
    - Resinas hidrófobas
    - Altamente reticuladas
    - Sin cargas fuertemente polares
  - **Iones hidrófilos (bicarbonatos) prefieren:**
    - Resinas hidrófilas
    - Moderadamente reticuladas
    - Con grupos fuertemente polares
  - **Iones divalentes (Calcio):**
    - Resinas compactas con poco espacio intersticial

# COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

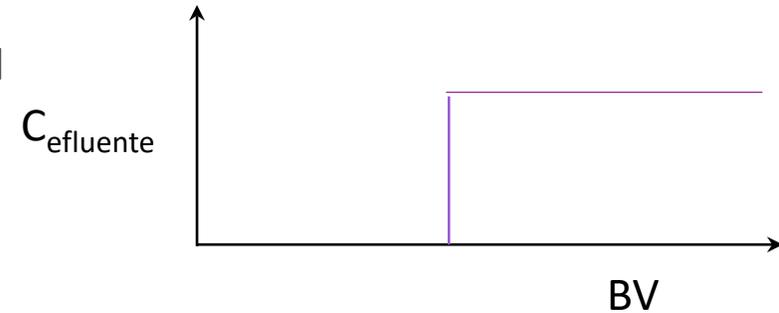
## Columnas binarias

- El comportamiento se puede asimilar a la filtración por un lecho granular
- En la primera capa toda la resina intercambia el ion móvil por el que se desea eliminar (gris oscuro)
- Capa donde se produce la transferencia (gris claro)
- En la última capa se tiene una resina fresca (amarillo)

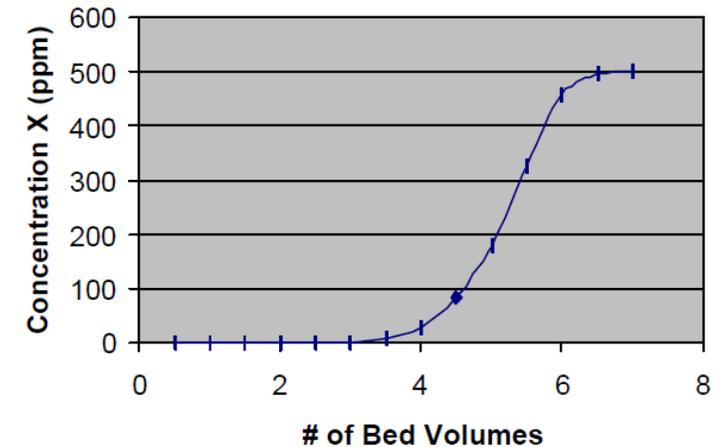


Este tipo de curva se denomina curva de ruptura y son críticas para determinar el ciclo de trabajo antes de la regeneración

Ideal



Real



# COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

---

## Columnas multicomponente

- Este tipo de columnas poseen diferentes resinas lo que permite la retención de varios iones
- En este caso se obtienen diferentes curvas de ruptura para cada ión
- En este tipo de columna los puntos más destacables son:
  - Las diferentes curvas de ruptura y sus interrelaciones
  - La capacidad de retención de cada resina
  - La afinidad de cada tipo de resina
  - La ruptura de cada tipo de ion se sucederá en función del grado de afinidad.
  - Las curvas de ruptura se ven afectadas por la concentración en la alimentación
- Se suelen emplear en instalaciones compactas, normalmente en las ETAP se prefiere columnas específicas para mejorar la operatividad
- Se debe estimar el mejor punto de la regeneración

## Columnas multicomponente

- Normalmente es necesario ensayos previos para determinar el punto de ruptura
- Existen simuladores comerciales que permiten determinar el tiempo de ciclo entre regeneraciones



**Adsorción**

# ADSORCIÓN DE MATERIA INORGÁNICA

## Objetivo de la adsorción de materia inorgánica

- Permite la eliminación de materia inorgánica mediante la adsorción
  - Fluoruros
  - Arsénico
  - Selenio
  - Sílice
  - Fosfato
- Materiales adsorbentes
  - Alúmina Activada (AA)
  - Óxido férrico granular (GFO)
  - Hidróxido férrico granular (GFH)
  - Tierra de diatomeas

### VENTAJAS

- Operación independiente al caudal
- Altamente selectivo para algunos iones como el fluoruro

### INCOVENIENTES

- Con algunos adsorbentes es imposible la regeneración
- Los medios tienden a la disolución
- Altos tiempos de contacto

# ADSORCION DE MATERIA INORGÁNICA

---

## Características del proceso

- Los materiales adsorbentes deben ser altamente porosos (área superficial entre 50 – 300 m<sup>2</sup>/g)
- Uno de los principales impedimentos de este sistema es la desorción del compuesto
- Ampliamente usado en las ETAP en la eliminación de :
  - Radio
  - Flúor
  - Arsénico

# ADSORCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA. CARBÓN ACTIVO

## Objetivo de la adsorción de materia orgánica

- La adsorción de materia orgánica pretende retener la materia orgánica que no se pueda eliminar mediante coagulación, sedimentación o filtración
- Permite eliminar:
  - Color
  - Olor
  - Fármacos, fertilizantes u otras sustancias a niveles traza en el agua potable

## Adsorción mediante carbón activo

- Se puede emplear en polvo o granular
- En muchos casos es necesario reemplazar el carbón activo o regenerarlo



Carbón activo en polvo (PAC)

- Se adiciona directamente al agua en un mezclador rápido (tipo floculador)
- Uso para pequeñas producciones



Carbón activo granular (GAC)

- Se coloca sobre lechos fijos (tipo filtro granular)
- Uso para grandes producciones
- Mejores rendimientos

# CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVO

---

## Fabricación

Se fabrica a partir de

- carbón subbituminoso
- Carbón lignito
- Coco
- Madera



- Se somete a una activación u oxidación para desarrollar su estructura interna
- Normalmente se hace mediante pirólisis en ausencia de oxígeno a 700°C
- El resultado se combina con agentes como el ácido fosfórico

## Características Físicas

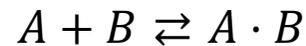
- Material muy poroso (volumen microporo: 0,15-0,50 cm<sup>3</sup>/g; volumen mesoporo: 0,05-0,65 cm<sup>3</sup>/g)
- Elevada área superficial (500-1500 m<sup>2</sup>/g)

# TEORÍA DE LA ADSORCIÓN

---

## Equilibrio de adsorción

- El proceso de adsorción se representa como una reacción de equilibrio
- La interacción entre la molécula y al adsorbente suele ser atracción dipolo-dipolo o interacciones de Van der Waals



## Modelo de Freundlich

- El adsorbente solo podrá retener una cantidad de la molécula determinada: la concentración de equilibrio
- La cantidad retenida por g de adsorbente se denomina “q”
- El modelo empírico de Freundlich es el más común para determinar la cantidad retenida

$$q = KC^{\frac{1}{n}}$$

- q: cantidad adsorbida/cantidad adsorbente
- C concentración de equilibrio
- K: parámetro que mide la capacidad de adsorción
- n: mide la heterogeneidad del adsorbente

- Para diferentes compuestos existen valores tabulados que permiten determinar la cantidad adsorbida

# TEORÍA DE LA ADSORCIÓN

---

## Curva de ruptura

- Como ocurre en el intercambio iónico llega un momento en el que el adsorbente se satura y se produce la ruptura del lecho
- En el caso de la adsorción de materia orgánica se produce una retención diferente para cada tipo de materia orgánica

## Desorción

- Se puede realizar mediante la circulación de agua con bajo contenido en materia orgánica
- Se puede hacer por renovación del GAC
- Se somete al lecho a un tratamiento térmico que permite la reactivación del lecho

# RETENCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SINTÉTICA

---

## Materia orgánica sintética

- Este término hace referencia a:
  - Compuestos orgánicos volátiles
  - Pesticidas
  - Fármacos
  - Productos de aseo personal
- Su origen es antropogénico y normalmente están en pequeñas cantidades
- Actualmente no hay normativa, pero en el caso de potabilizar aguas superficiales con descarga de aguas residuales es importante establecer etapas para retenerlos
- Una de las mejores opciones el uso del GAC debido a la baja cantidad de los mismos y al poder adsorbente