

# Facultad de Ingeniería

## Ingeniería Química

### Ejemplos de Procesos Batch

# Procesos de Producción

- Procesos continuos
  - Operan un alto % de tiempo asignado a producción
  - Paros de mantenimiento
- Procesos batch
  - Arranques y paros frecuentes
  - Pueden realizar varias tareas en un mismo equipo
- Procesos semicontinuos

# Selección de Procesos Batch

- Producción
  - Batch  $\rightarrow$   $< 500$  t/año
  - Plantas multiproducto
- Mercado
  - Demandas estacionales o intermitentes
  - Tiempo de vida del producto
- Operación
  - Tiempos de reacción muy largos
  - Flujos pequeños
  - Sólidos, lodos  $\rightarrow$  Incrustación

# Diseño de Procesos Batch

- Decidir qué unidades operan en batch y cuáles en continuo
- Qué operaciones se pueden llevar a cabo en un mismo equipo
- Existencia de unidades paralelas
- Opciones de almacenamiento intermedio
- Tamaño de los equipos
- Programación de la producción

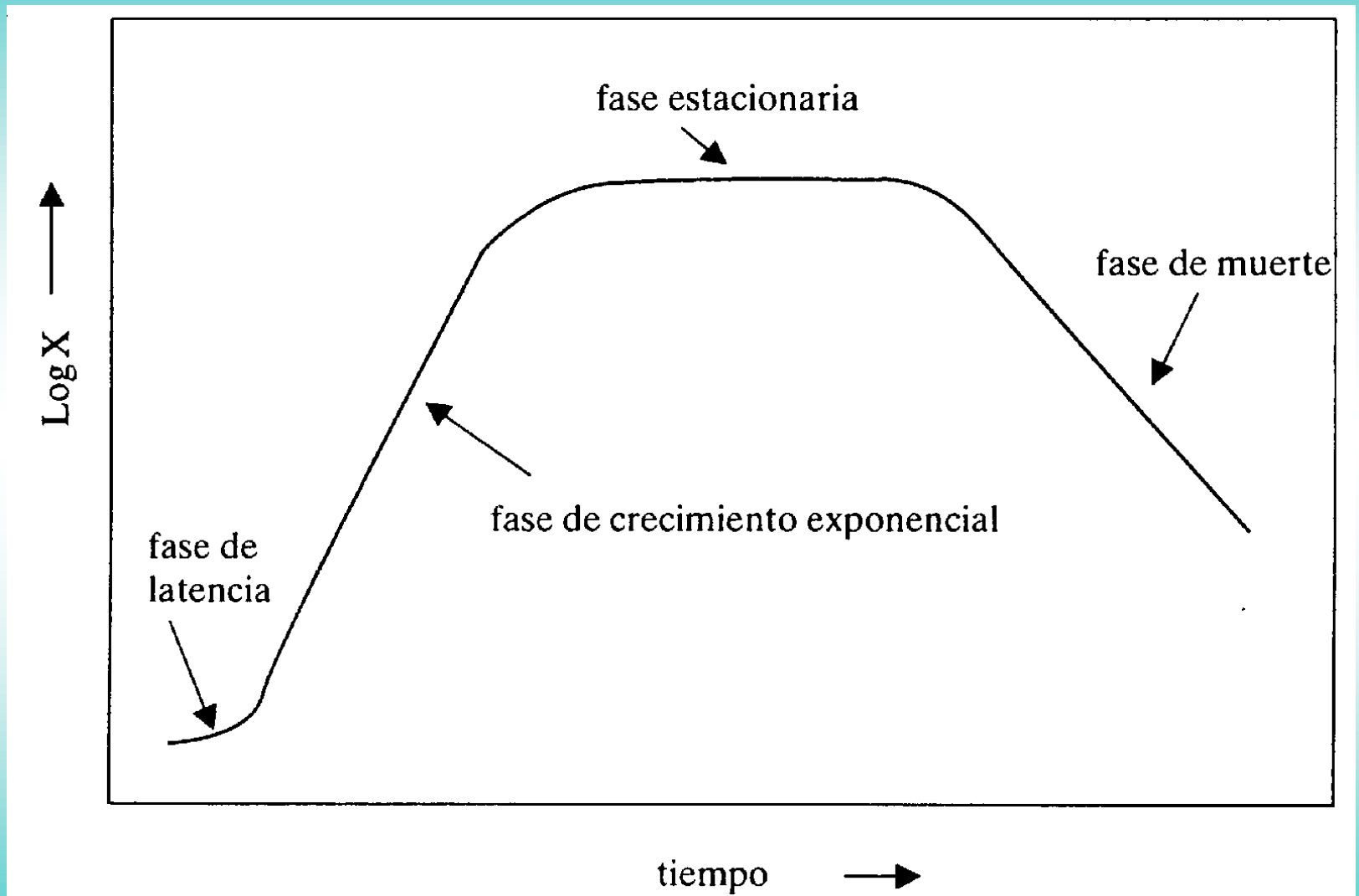
# Sistema de Reacción

- Selección de esquema de reacción
  - Tipo de reactor
  - Concentraciones
  - Temperatura
  - Presión
  - Fase
  - Catalizador

# Bioreactores

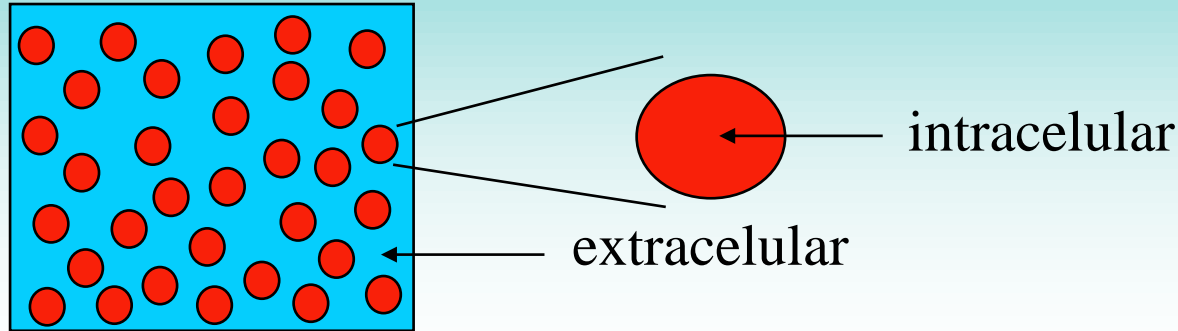
- Productos
  - Alimentos y bebidas
  - Productos farmacéuticos
  - etc.
- Modelos dinámicos de bioreactores
  - Predicción del crecimiento de células y formación de producto
  - Diseño, optimización y control de Reactor

# Bioreactor. Fases de crecimiento



# Conceptos básicos

- Fase intracelular y extracelular



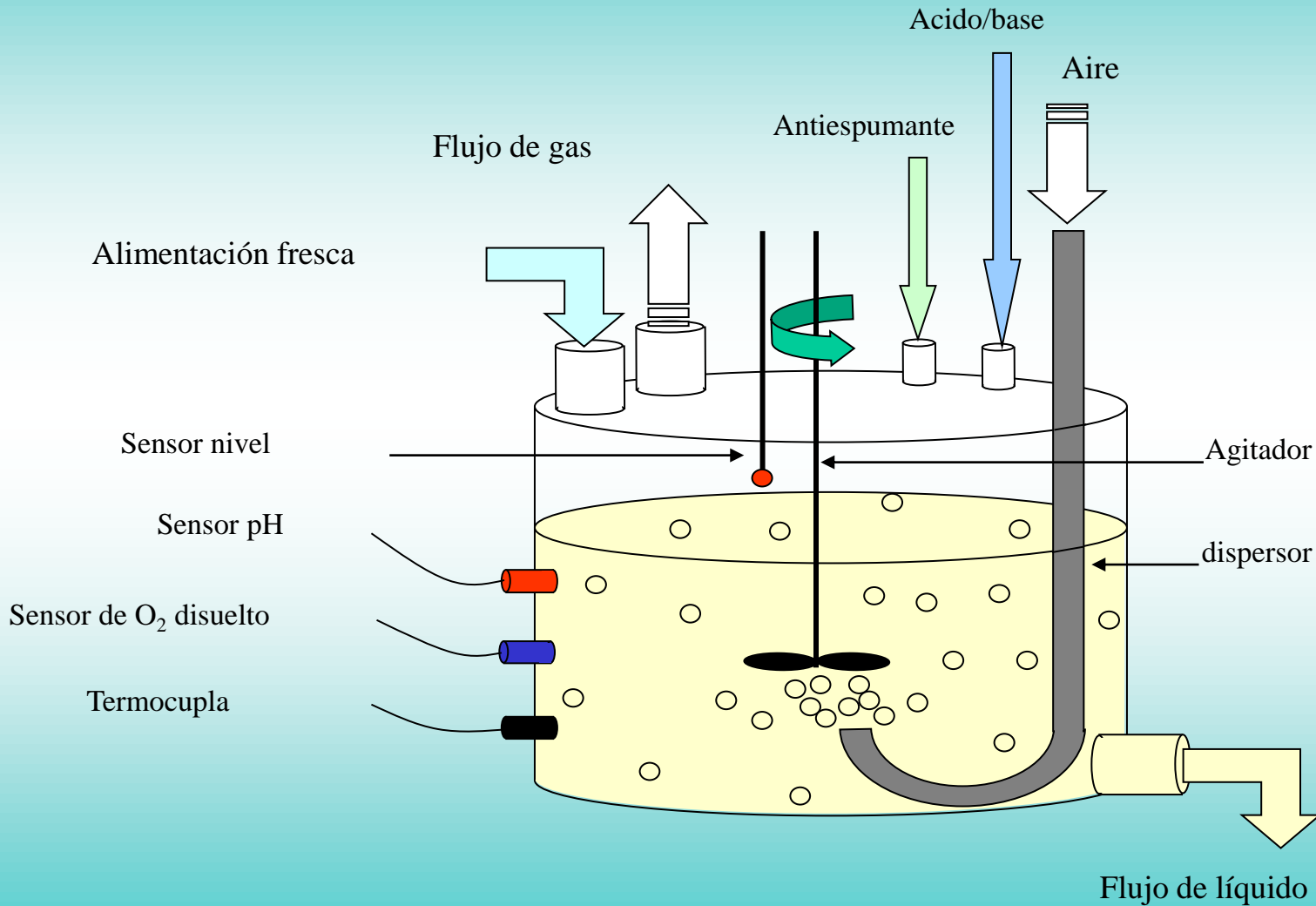
- Intracelular – biofase
  - Extracelular – fase abiotica
- Crecimiento celular
    - Consume nutrientes & excreta productos al medio extracelular
    - División: una célula  $\rightarrow$  dos células
    - células + substratos  $\rightarrow$  más células + productos



# Conceptos básicos

- Fermentación
  - Gran escala de producción de productos microbiológicos
  - Aeróbico –  $O_2$  es un sustrato
  - Anaeróbico –  $O_2$  no se requiere para el crecimiento celular
- Medios de crecimiento
  - Nutrientes requeridos para el crecimiento celular
  - Carbono, nitrógeno y fuentes de energía
  - El concentración de sustrato determina tasa de crecimiento
- Condiciones de crecimiento
  - Pequeño rango de temperatura y pH
  - La concentración de  $O_2$  disuelto es importante.
  - La esterilización adecuada es crítica

# Fermentación aeróbica



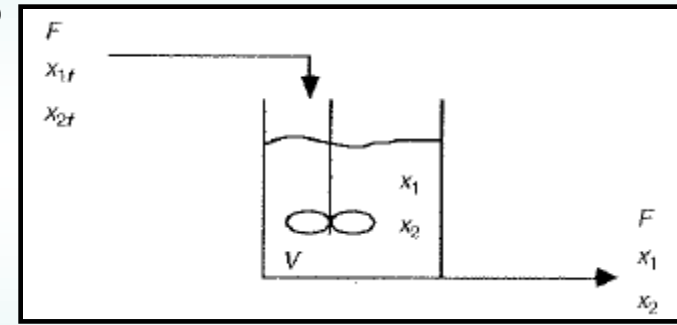
# Modelos de crecimiento

- Características generales
  - Descripción simple del crecimiento celular y formación de producto.
  - No se modela el crecimiento intracelular.
- Velocidad específica de crecimiento

$$\mu = \frac{1}{x_1} \frac{dx_1}{dt} \quad x_1 = \text{Concentración de células (g/L)}$$

- Coeficientes de rendimiento

- Biomasa/substrato:  $Y_{X/S} = -\Delta X / \Delta S$
- Producto/substrato:  $Y_{P/S} = -\Delta P / \Delta S$
- Producto/biomasa:  $Y_{P/X} = \Delta P / \Delta X$
- Se consideran constantes



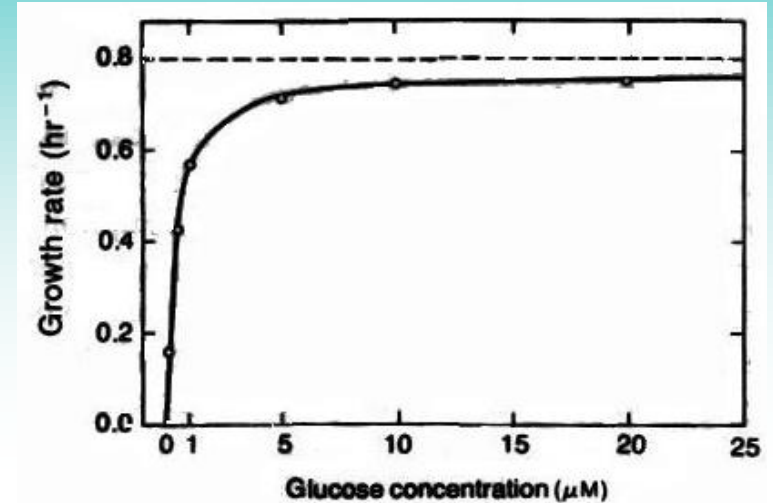
F: Flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/h)  
x1: concentración biomasa  
x2: concentración sustrato  
r1: velocidad generación células  
r2: velocidad consumo sustrato

# Expresiones de velocidad específica

- Monod

$$\mu(x_2) = \frac{\mu_{\max} x_2}{K_m + x_2}$$

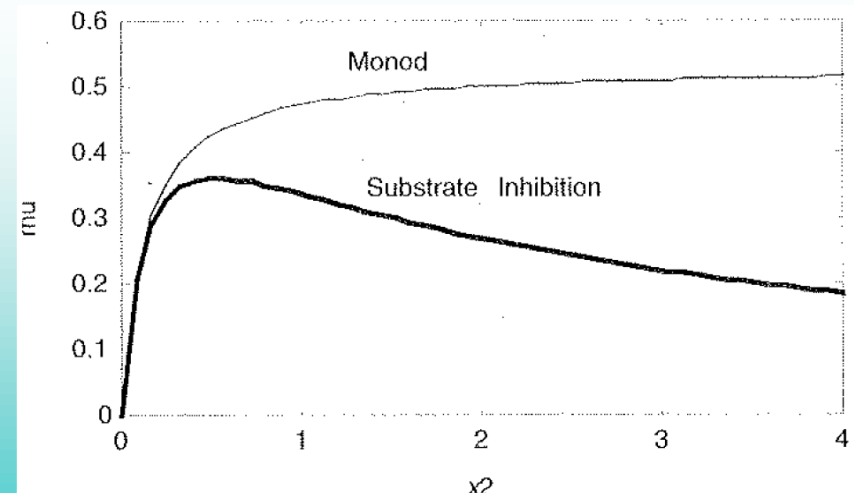
- $x_2$  = concentración sustrato
- $K_m$  = Constante de saturación
- $\mu_{\max}$  = máxima velocidad específica de crecimiento ( $S \gg K_s$ )



- Inhibición de Sustrato

$$\mu(x_2) = \frac{\mu_{\max} x_2}{K_m + x_2 + K_I x_2^2}$$

- $K_I$  = constante de inhibición



# Expresiones de velocidad específica

- La inhibición del producto

$$\mu(x_2, P) = \frac{\mu_{\max} x_2}{K_m + x_2} \left( 1 - \frac{P}{P_m} \right)$$

- P = concentración de producto
- $P_m$  = concentración de producto cuando  $\mu = 0$

- Inhibición por compuestos tóxicos

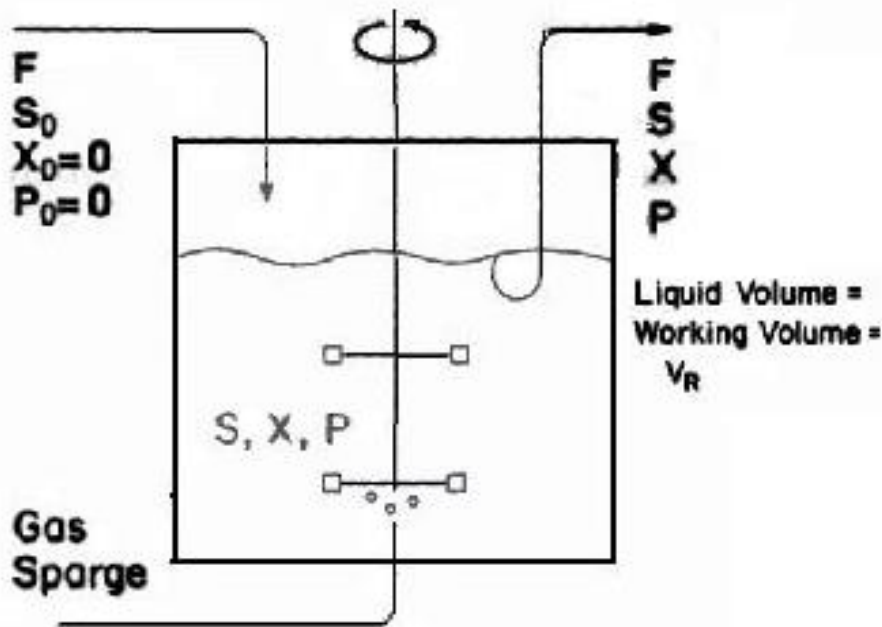
$$\mu(x_2, I) = \frac{\mu_{\max} x_2}{(K_m + x_2) \left( 1 + \frac{I}{K_I} \right)}$$

- I = concentración de compuesto tóxico

# Modelos de Bioreactores

## Suposiciones

- Crecimiento aeróbico
- Alimentación estéril
- Volumen constante
- Mezclado perfecto
- Temperatura y pH constantes
- Rendimiento constante
- Células muertas despreciables.



**Figure 6.18.** Simplified schematic of a chemostat.

# Ecuaciones de balance

- Masa de células

$$V \frac{dx_1}{dt} = Fx_{1f} - Fx_1 + Vr_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{dx_1}{dt} = -Dx + \mu x_1 \quad r_1 = \mu x_1$$

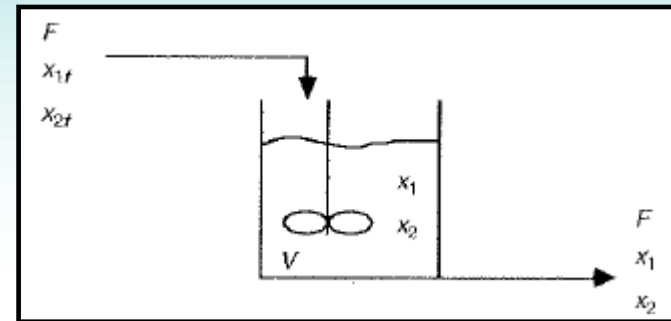
- $V_R$  = volumen de reactor

- $F$  = flujo volumétrico

- $D = F/V_R =$  Velocidad de dilución

- $x_1$  = Masa de células/Volumen

- Estado estacionario:  $\bar{\mu} = \bar{D}$



- Producto

$$V_R \frac{dx_P}{dt} = -Fx_P + V_R qx_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{dx_P}{dt} = -Dx_P + qx_1$$

# Ecuaciones de balance

- Substrato

$$V \frac{dx_2}{dt} = Fx_{2_0} - Fx_2 - \frac{1}{Y_{x1/x2}} V \mu x_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{dx_2}{dt} = D(x_{x2_0} - x_2) - \frac{1}{Y_{x1/x2}} \mu x_1 \quad Y_{x1/x2} = \frac{r_1}{r_2}$$

- $x_2 =$  Concentración de substrato

- Estado estacionario:  $\bar{x}_2 = Y_{x1/x2} (\bar{x}_{2_0} - \bar{x}_2)$

- Estructura del Modelo

- Variables de estado:  $x_e = [x_1 \ x_2 \ P]^T$

- Sistema de tercer orden

- Variables de entrada:  $u = [D \ x_{2_0}]^T$

- Forma de vector:  $\frac{dx}{dt} = F(x, u) \quad x(0) = x_0$