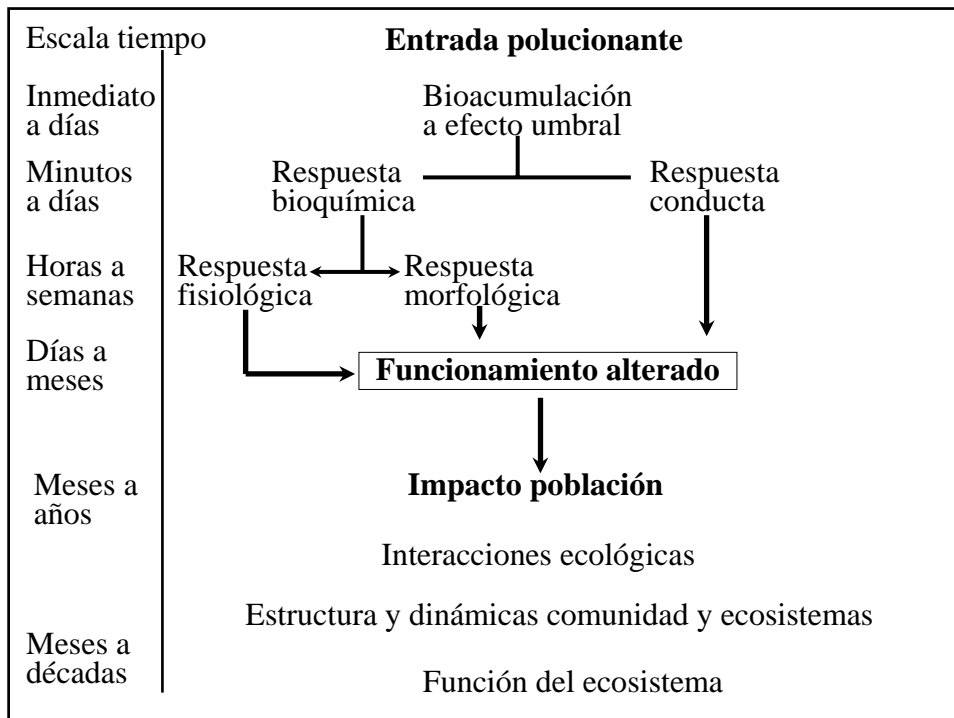


## *Tema 30: Bioacumulación de polucionantes*



### ***Bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación***

**Bioconcentración** = Acumulación neta de un contaminante en y, en algunos casos, sobre un organismo desde el ambiente (agua)

**Bioacumulación** = Acumulación neta de un contaminante en y, en algunos casos, sobre un organismo desde todas las fuentes ambientales: agua, aire y fases sólidas (alimentos, sedimentos, suelos, y partículas finas suspendidas).

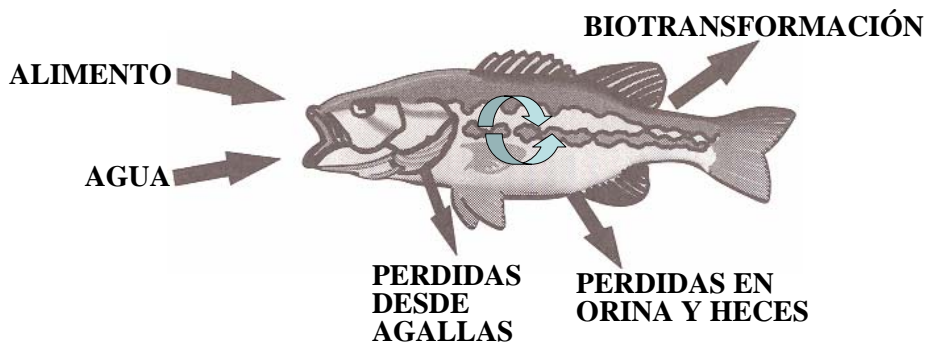
**Biomagnificación** = Incremento en la concentración de un contaminante desde un nivel trófico (presa) hasta el siguiente (predador) debido a la acumulación desde el alimento.

$$\text{FBC} = \frac{\text{Concentración en el organismo}}{\text{Concentración en el medio ambiente}}$$

$$\text{FBA} = \frac{\text{Concentración en el organismo}}{\text{Concentración en el alimento ( o en agua ingerida)}}$$

$$\text{FM} = \frac{[\text{paso}_{n+1}]}{[\text{paso}_n]}$$

### ***Modelo conceptual de bioacumulación***



Modelo matemático simple de la “película”. Los peces captan potencialmente los polucionantes a través del alimento y del agua. Los puede perder a través de las agallas, orina y heces, y de la excreción biliar. Puede haber una redistribución interna o una biotransformación. La exposición dérmica puede ser importante dependiendo de la calidad del polucionante y de la relación superficie-volumen del pez.

### ***Bioacumulación, 1***

Puede ocurrir desde agua, aire (gases y pequeñas partículas), suelo (sedimento) y a través de la cadena alimentaria.

La tasa a la cual ocurre la acumulación depende de:

- la calidad y disponibilidad del polucionante,
- la capacidad del organismo para incorporarlo y manipularlo, y
- las condiciones ambientales.

El nivel último de la acumulación depende de los procesos internos de excreción, detoxificación y almacenamiento.

- Niveles de Cu y Zn regulado en músculos de peces, pero no el metilmercurio
- Moluscos bivalvos no metabolizan HAP tan rápido como los peces y crustáceos. Las concentraciones en los tejidos de los bivalvos dependen del **coeficiente de partición lípido-agua** y la cantidad de grasa del animal.

### ***Bioacumulación, 2***

Para compuestos químicos inorgánicos, el alcance de la bioacumulación a largo plazo depende de la velocidad de excreción.

- P. ej.: La bioacumulación del Cd en animales es alta respecto a la mayoría de los otros metales ya que es asimilado rápidamente y excretado lentamente.

Si un organismo exhibe un valor alto en el FBC para una sustancia particular, puede deberse a su metabolismo.

- P. ej.: Animales con esqueleto calcáreo, exoesqueleto o conchas tomará Pb y/o Sr en mayor proporción que los animales sin estas protecciones ya que estas dos sustancias siguen rutas bioquímicas similares al Ca para el cual los organismos han desarrollado una alta eficiencia de asimilación.

### ***Bioacumulación, 3***

La bioacumulación de sustancias tóxicas puede ocurrir hasta un cierto nivel antes de que se alcancen los umbrales de efectos crónicos.

- La unión de metales a las proteínas **metalotioneinas (fitoquelatinas)** tiene una función de almacenamiento protector que conserva la concentración de los metales por debajo del umbral de daño en los centros de acción (sistemas enzimáticos).
- El selenio antagoniza los efectos tóxicos del mercurio. En focas, leones marinos y delfines, la concentración de Se en los órganos sigue la pauta a las cantidades del Hg. Seleniuro de mercurio en tejidos conectivos de delfines parece ser un producto de los mecanismos de detoxificación del metil mercurio.

### ***Bioacumulación, 4***

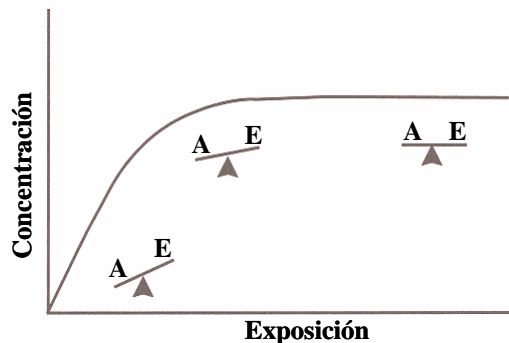
Generalmente, hay poca asociación directa entre las concentraciones de los polucionantes en el organismo completo o en sus músculos y la severidad de la respuesta (daño).

- Las concentraciones en órganos específicos (cerebro, hígado y riñón) se correlacionan mejor con los efectos perjudiciales.

Efectos crónicos: las respuestas bioquímicas, fisiológicas, morfológicas o de conducta, inducidas en una etapa de desarrollo pero expresadas en una etapa posterior del desarrollo, o en un nivel diferente de organización biológica.

Efectos de los polucionantes: “Cascadas desde un nivel biológico al siguiente, cuando los mecanismos de reparación, detoxificación, u otros mecanismos de recuperación son superados” (Holdgate, 1979)

### *Descripción matemática más común de la bioacumulación*



El modelo predice un incremento gradual en la concentración del polucionante hasta que se alcanza el **estado estacionario**.

El incremento gradual hasta alcanzar un máximo es el resultado del cambio en influencia de los procesos de absorción (A) y eliminación (E) sobre los cambios internos de la concentración durante el curso de la exposición. Al inicio hay poco polucionante en el pez. La absorción domina sobre la eliminación, y la concentración se incrementa. A medida que el contaminante se acumula en el pez, se incrementa la cantidad disponible a la eliminación. La eliminación aumenta en importancia. El balance entre absorción y eliminación conduce a una concentración de estado estacionario en el pez que se mantendrá mientras las condiciones permanezcan constantes.

### *Estado estacionario y equilibrio químico*

Los términos estado estacionario y equilibrio son con frecuencia usados incorrectamente.

Estado estacionario se refiere a una concentración constante en el organismo como resultado de procesos (absorción, excreción e intercambio interno entre compartimentos), incluyendo a los que **requieren energía**.

Las concentraciones en equilibrio se originan por procesos químicos que **no requieren energía** para mantenerse constantes.

Las concentraciones en el estado estacionario que se originan por bioacumulación pueden ser considerablemente mayores que las predecibles mediante el equilibrio químico.

## ***Teoría lipídica de la narcosis***

Dadas por Meyer (1899) y Overton (1901).

Es adecuada para intentar predecir las cantidades de polucionantes orgánicos no ionizables dentro del organismo.

Los anestésicos no actúan por virtud de su particular estructura química e interacción con un receptor, sino por estar presente en concentraciones suficientemente elevadas para ocluir espacios de las células e interrumpir las secuencias metabólicas normales.

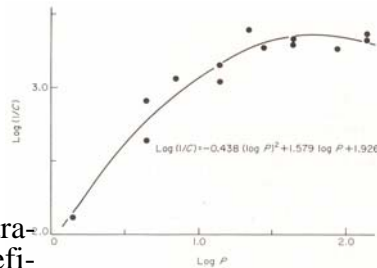
El efecto depresor se incrementa con el valor del coeficiente de partición entre un lípido y el agua.

Hansch *et al* (1968): para diversas series hipnóticas no relacionadas estructuralmente

$$\log (1/C) = k (\log P)^2 + k' \log P + k''$$

Donde:

C = concentración molar de droga administrada para obtener una respuesta dada. P = coeficiente de partición octanol-agua. Las constantes *k* son estimadas por el procedimiento de mínimos cuadrados..



## ***Aplicación de la teoría lipídica***

Hamelink *et al* (1971), aplicaron una modificación de esta teoría a polucionantes orgánicos, principalmente pesticidas. Consideran al coeficiente de partición como el principal determinante de la concentración retenida dentro de un animal.

Experimentos con DDT y metabolitos derivados aplicados a lagos.

- Las concentraciones encontradas en la biota no dependían de la transferencia a lo largo de la cadena alimentaria.
- En invertebrados había una correlación lineal entre concentraciones presentes en la biota y las del agua.
- La acumulación del DDT y sus metabolitos dependía del coeficiente de partición entre el agua y la grasa corporal.
- Las concentraciones en la biota dependen de la especie, el tiempo de exposición y, más notablemente, del contenido de grasa del animal.

Logaritmo de las concentraciones medias ( $\mu\text{g/g} \pm \text{EE}$ ) para cuatro polucionantes clorados en tres órganos de siete especímenes de *Trigla lucerna* (bejel) capturados en el Canal de la Mancha.

Tissue	Contaminant			
	PCB	<i>p,p'</i> -DDE	<i>p,p'</i> -DDD	<i>p,p'</i> -DDT
<i>Fresh weight</i>				
Visceral adipose tissue	0.54±0.06	-0.25±0.07	-1.04±0.05	-0.40±0.06
Liver	-0.11±0.11	-1.06±0.11	-1.48±0.11 <sup>b</sup>	-1.10±0.14 <sup>b</sup>
Skeletal muscle	-1.28±0.06	-2.41±0.09	-2.85±0.08	-2.25±0.06
Difference between smallest and largest mean values	66-fold	145-fold	65-fold	71-fold
<i>Lipid weight</i>				
Visceral adipose tissue	0.64±0.06	-0.16±0.06	-0.94±0.05	-0.31±0.07
Liver	0.49±0.08	-0.47±0.10	-0.86±0.07 <sup>b</sup>	-0.49±0.09 <sup>b</sup>
Skeletal muscle	1.00±0.05	-0.14±0.06	-0.53±0.07	0.03±0.08
Difference between smallest and largest mean values	3.2-fold	2.1-fold	2.5-fold	3.3-fold



### *Coeficiente de partición octanol-agua*

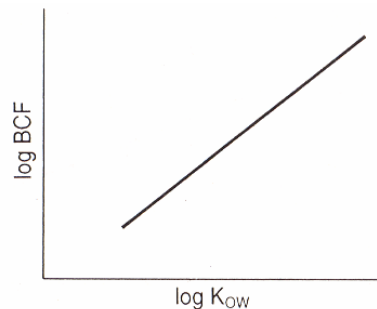
El coeficiente de partición octanol/agua (P o  $K_{oa}$ ): mide el grado de hidrofobicidad (o de lipofilidad) de una sustancia.

Relación de concentraciones entre dos fases o disolventes inmiscibles (lípidos-agua, aceite-agua)

$$P = K_{ab} = \frac{\text{concentración disolvente A}}{\text{concentración disolvente B}}$$

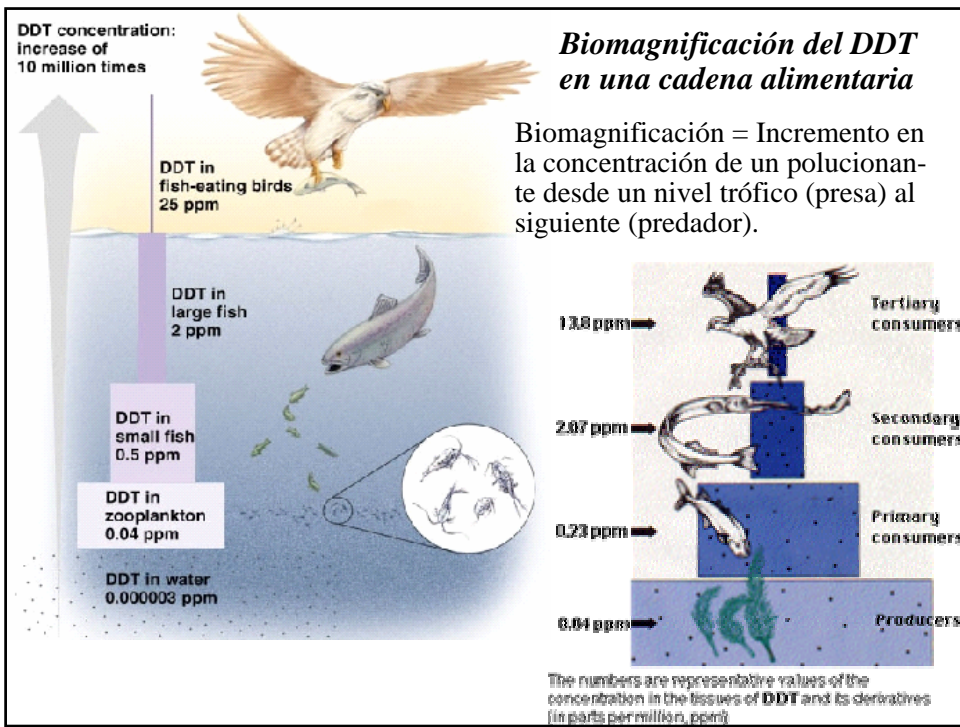
El factor de bioconcentración depende directamente del coeficiente octanol-agua.

$$\text{Log FBC} = a \text{ log } K_{oa} + b$$



**Coefficientes de partición octanol/agua de algunos contaminantes orgánicos**

Compuesto químico	log K <sub>oa</sub>
Acetaldehído	0,45
Fenol	1,50
Cloroformo	1,97
1,3-Butadieno	1,99
Benceno	2,13
2,4,6- Triclorofenol	2,24
Tetracloruro de carbono	2,83
Estireno	3,05
Etilbenceno	3,15
Hexaclorobenceno	5,31
DDT	6,76
2,3,7,8-TCDD	7,05





**Biomagnificación de los PCBs en el lago Ontario.**

