

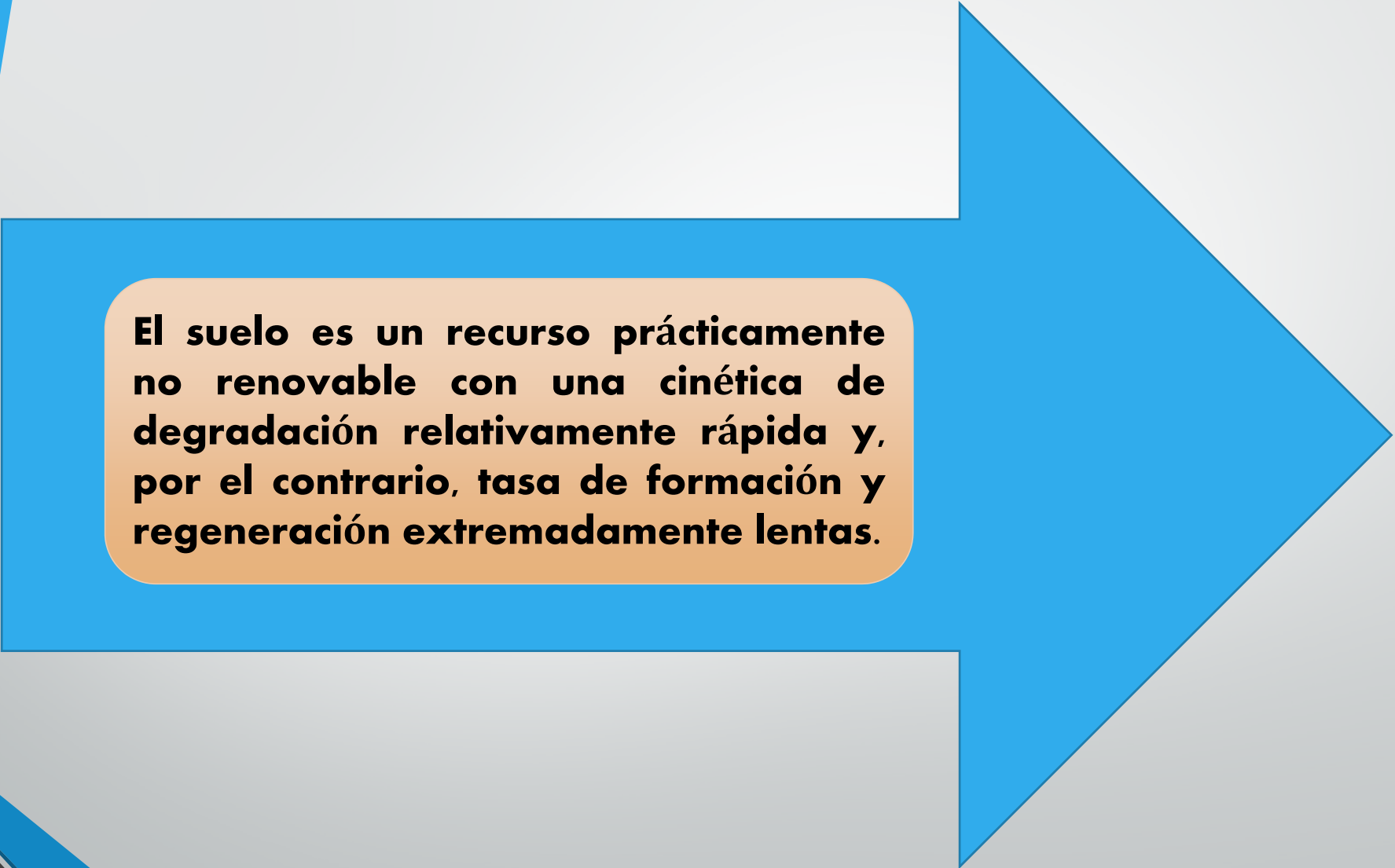
Norma Ambiental de Calidad de Suelos para diversos usos, principios y aplicaciones

Relación entre el tipo de suelos y dispersión de contaminantes

Ing. Erick Vallester

Que es el Suelo?

- **El Decreto Ejecutivo N° 2 de 14 de enero de 2009, 'POR EL CUAL SE ESTABLECE LA NORMA AMBIENTAL DE CALIDAD DE SUELOS PARA DIVERSOS USOS'. Lo define como**
 - *Suelo: la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, y que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso.*
- El suelo es uno de los componentes fundamentales del medio ya que constituye la parte de la superficie terrestre sobre la que se asienta la vida vegetal y sobre la cual se implanta la mayor parte de las actividades humanas.



El suelo es un recurso prácticamente no renovable con una cinética de degradación relativamente rápida y, por el contrario, tasa de formación y regeneración extremadamente lentas.

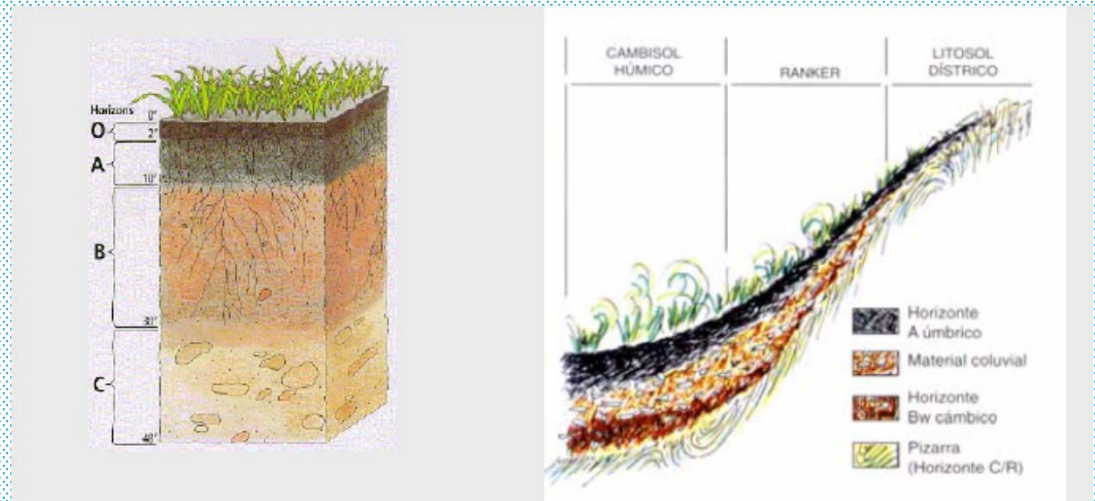
Movimientos del agua en el suelo

Los movimientos del agua en el suelo dependen de dos procesos opuestos:

- Movimientos descendentes del agua de gravitación relacionado con la permeabilidad del perfil.
- Movimientos ascendentes, se producen en periodos secos.

La distribución del agua en profundidad, es la resultante de estos dos procesos.

De acuerdo a la topografía también existe un lavado vertical u oblicuo que debe de ser tomado en cuenta.



Los problemas directamente derivado del uso antrópicos de los suelos son actualmente muy severos:

Los suelos sufren el vertido constante de todo tipo de residuos , ellos son capaces de retener y acumular los agentes contaminantes durante años, siendo los mas habituales los metales pesados, los hidrocarburos, los aceites minerales y los pesticidas.

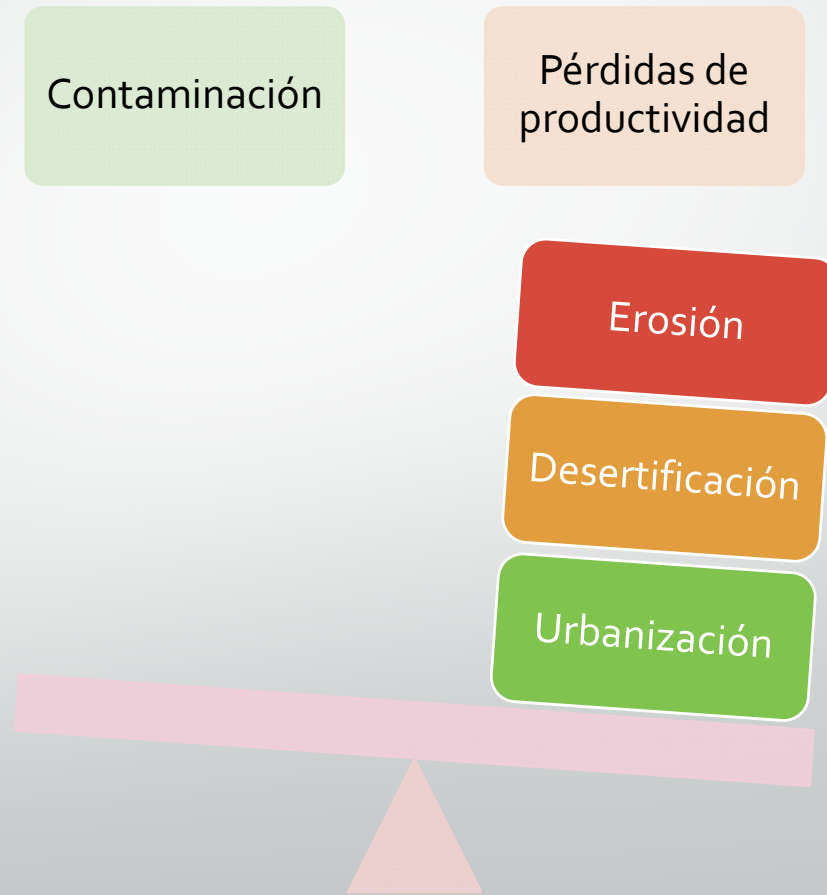
Contaminación

Pérdidas de productividad

Erosión

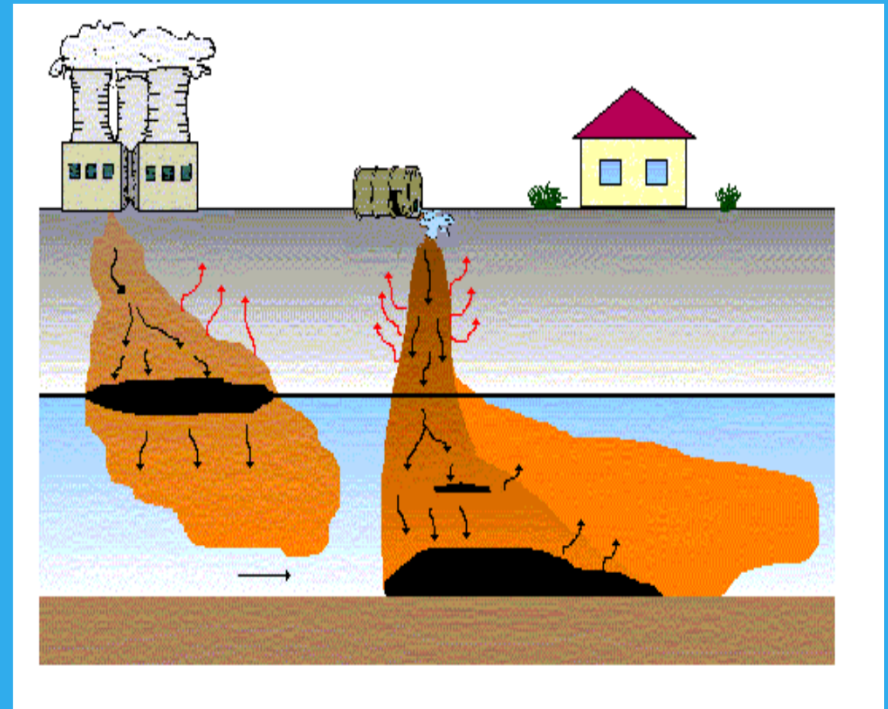
Desertificación

Urbanización



Que es un Suelo Contaminado?

- La contaminación, desde un punto de vista medioambiental, es la alteración de las características físicas, químicas o biológicas de los factores medioambientales en grado tal que supongan un riesgo inaceptable para la salud humana o los ecosistemas.
- Por lo tanto será necesario conocer cuales serán los estándares de contaminación del suelo para declarar, legalmente, un suelo como contaminado.



Diferentes tipos de Contaminación de Suelos



Contaminación física: Con variaciones en parámetros como temperatura y radiactividad



Contaminación biológica: Al incorporar especies o cepas patógenas



Contaminación química: Por la adición de elementos o compuestos en concentraciones que alteran la composición originaria del suelo



Urbana
Residuos Solidos
Urbanos
Efluentes de Aguas
Residuales



Agrícola
Agroquímicos
Residuos
Agroindustriales



Industrial
Residuos Peligrosos



Transporte de contaminantes. Distribución multifases y Mecanismo de Contaminación del Suelo

Advección

Dispersión

Difusión Molecular

Interacción Hidroquímica

ATMOSFERA

Gas

ORGANISMOS

SUELO

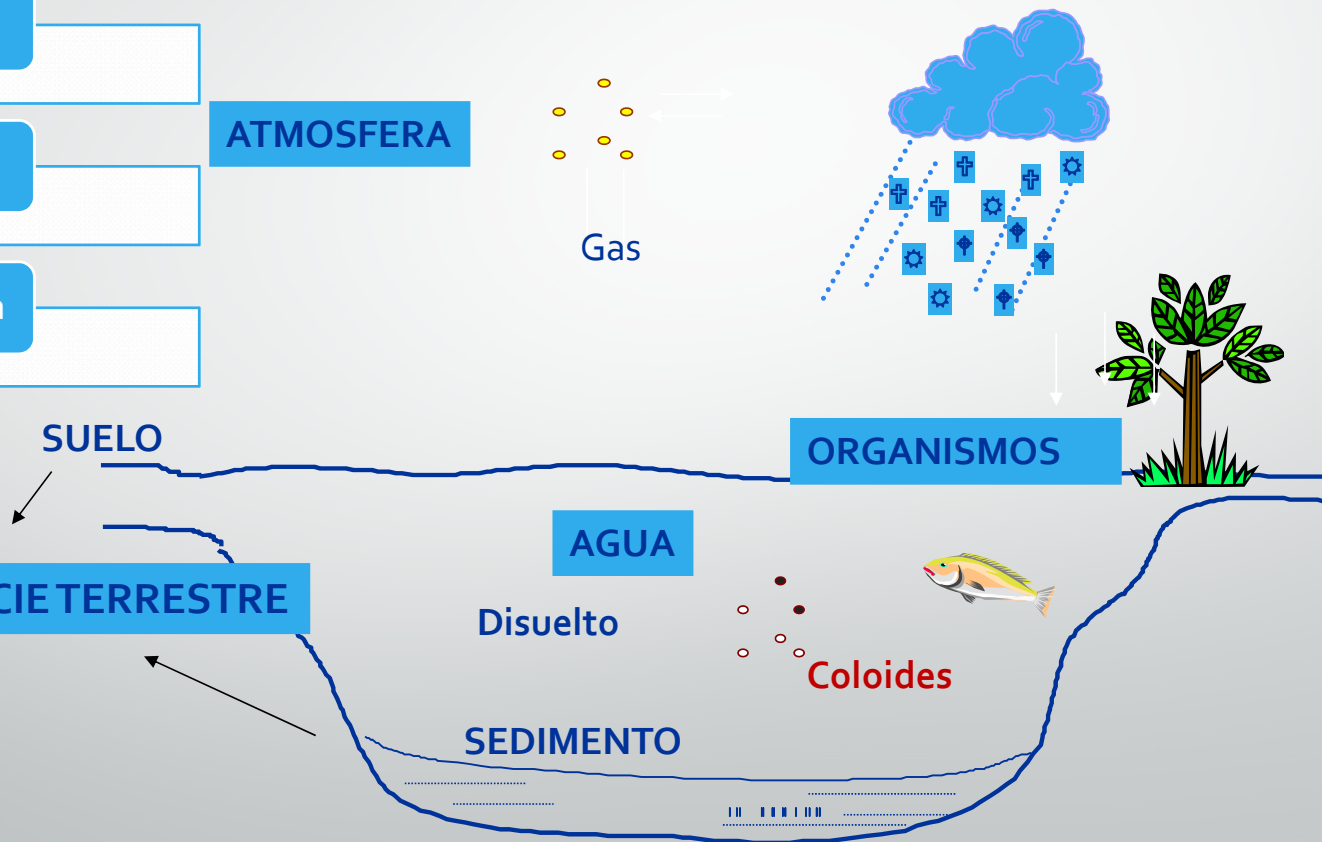
SUPERFICIE TERRESTRE

AGUA

Disuelto

Coloides

SEDIMENTO



Advección

- Transferencia de contaminantes con la misma velocidad y dirección con que se mueve el agua que los transporta. Es el principal mecanismo de tal manera que si se eliminan los otros procesos, el modelo casi no se altera.

La advección por el flujo de agua subterránea tiene un rango:

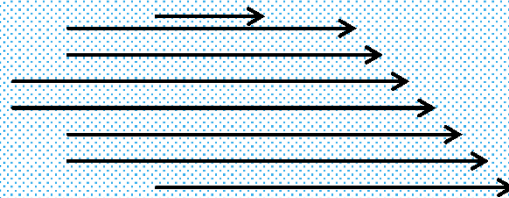
$$10^{-6} \text{cm/seg.} \leq V \leq 10^{-1} \text{cm/seg.}$$

Dispersión

- Fenómenos a través de los cuales se produce la movilidad de los contaminantes entre los distintos compartimentos. Fenómeno de Aspersado causado por variaciones de velocidad.
- Cuando se vierte una sustancia contaminante al medio ambiente, ésta no permanece en el lugar donde se realiza el vertido sino que se produce su **dispersión**, pues se da toda una serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos que provocan tanto el transporte dentro de un mismo compartimento ambiental como el paso al resto.
- La Dispersión es función de la acción mecánica.

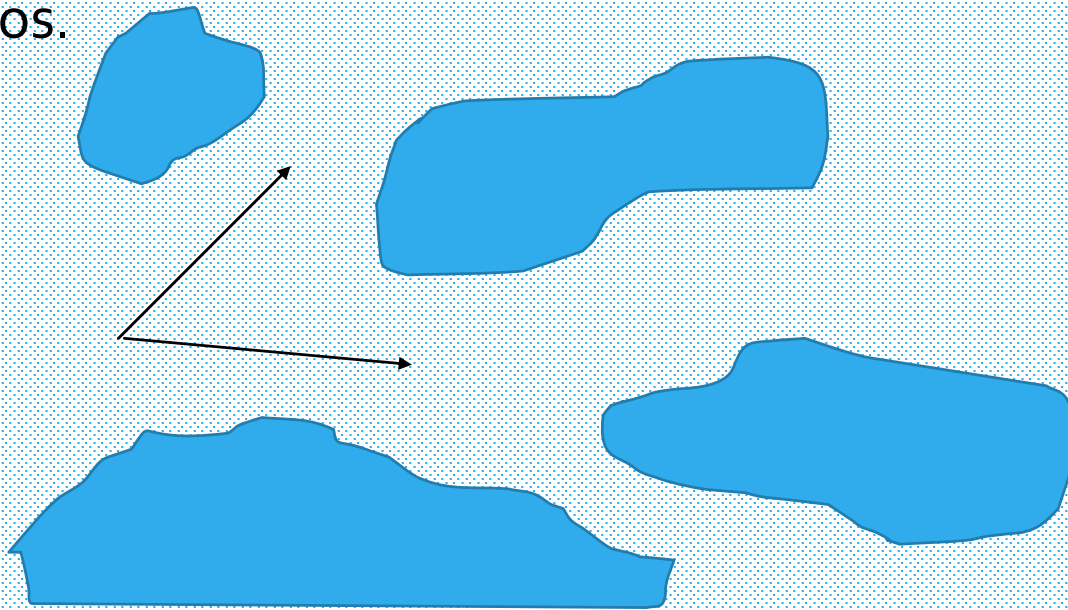
Acción mecánica

- El hecho de que el fluido es viscoso implica una velocidad nula sobre la superficie sólida, creando un gradiente de velocidad en la fase líquida de los tubos capilares.



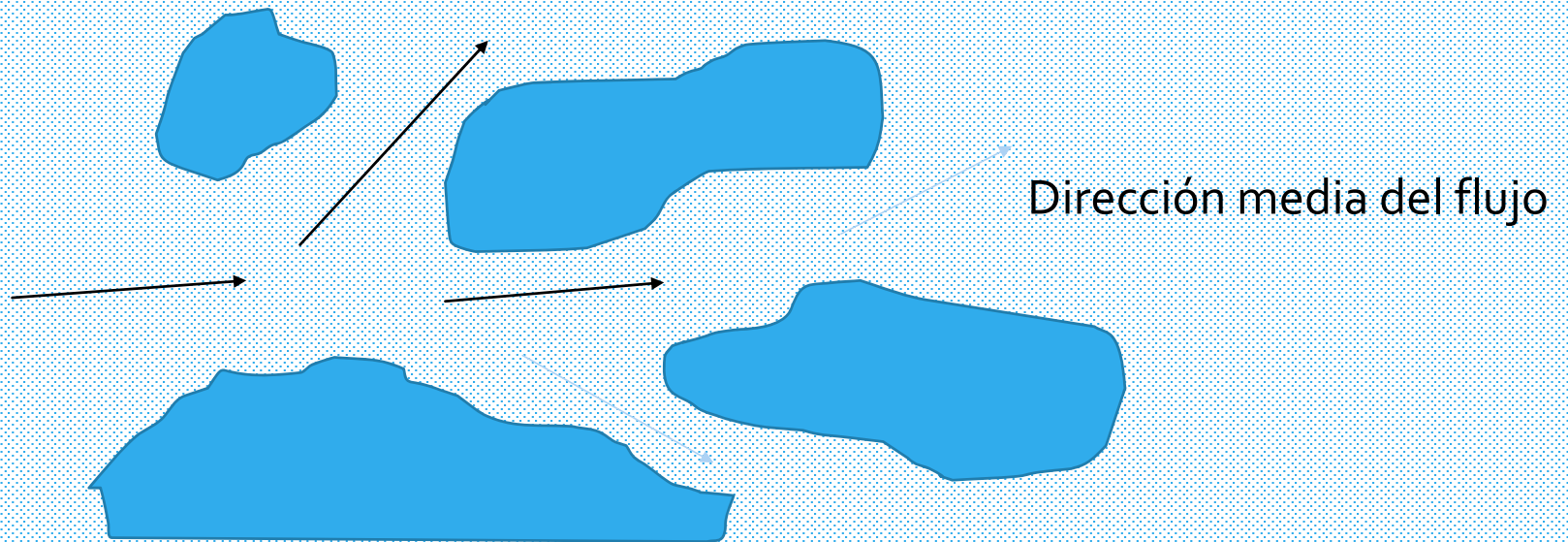
Acción mecánica

- Las variaciones de las dimensiones de los poros crean discrepancia entre las velocidades a lo largo de los ejes de los poros.



DISPERSIÓN

- Si $L_1 < L_2 \Rightarrow V_1 > V_2$
- Las líneas de corriente fluctúan respecto a la dirección media del flujo.



Difusión Molecular

- Tiene validez o aplicabilidad cuando la velocidad del agua subterránea es casi nula.
- Esta regida por la 1era Ley de Fick

$$F = - D_m \frac{\partial C}{\partial X}$$

Difusión Molecular

$$F = - D_m \frac{\partial C}{\partial X} ; C_i(x, t) = C_o \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_m t}} \right)$$

- La masa de contaminantes difundida, que pasa por una sección transversal dada por unidad de tiempo, es proporcional al gradiente de concentración del contaminante.

INTERACCION HIDROQUIMICA

- **Entre el fluido y el suelo a veces ocurren procesos importantes que cambiarán la calidad del agua subterránea por los constituyentes químicos disueltos.**
- **Características de las Aguas subterráneas, reacciones con los constituyentes del suelo.**

MECANISMOS DE ATENUACION DE LA CONTAMINACION DEL SUELO

- FILTRACION
- ABSORCION
- ADSORCION
- ACCION BACTERIOLOGICA

FILTRACION

- La capa de suelo que existe entre la superficie y el nivel de aguas freáticas actúa como un filtro natural. Los sólidos orgánicos retenidos son estabilizados por la acción bacteriana, y los inorgánicos pueden cambiar sus características por acción química. Limitante: sólo retiene partículas suspendidas dependiendo de la porosidad del suelo.

ABSORCION


- Este mecanismo funciona reteniendo la humedad y varios elementos contenidos en el lixiviado, el tiempo suficiente para que un proceso químico y/o bacteriológico se presente.
- LA Sorción es el proceso por medio del cual un componente (la sustancia contaminante absorbida) se traslada de una fase a otra atravesando una barrera.
- Absorción: es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase.

ADSORCION

- Ocurre cuando una molécula cargada (ión) del lixiviado pasa sobre una partícula de suelo que contiene una carga contraria, a la cual se adhiere. Un suelo teniendo una buena característica de intercambio catiónico, tiene un gran potencial de retención de los contaminantes presentes en el lixiviado.
- Adsorción: es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material.

ACCION BACTERIOLOGICA

- Básicamente la acción bacteriológica actúa acompañada de los mecanismos antes descritos, cuando se presenta material orgánico.



Modelos Matemáticos y Físicos

Representación que simula las condiciones ambientales y su respuesta ante estímulos determinados.

➤ **Modelo Matemático**

- **Modelo Unidimensional**: utilizado para representar flujos en una dirección.
- **Modelo Bidimensional**: utilizado en extensiones de gran ancho, en las cuales las concentraciones de contaminantes varían de un lado a otro.
- **Modelo Tridimensional**: utilizado en estudios de aguas subterráneas y en sistemas más complejos de aguas superficiales.



➤ **Modelo Físico**

Utilizado cuando las situaciones son demasiado complejas para ser analizadas matemáticamente.

➤ **Los modelos pueden ser:**

- **Dinámicos**: Proveen información acerca de la calidad tanto en la dirección como en el tiempo.
- **Estado estacionario**: Suponen variación sólo en el espacio, no existen cambios de los indicadores en el tiempo.

¿Cuáles son los objetivos?

- **Desarrollar estrategias de control**
- **Evaluar el impacto ambiental**
- **Analizar las tendencias**
- **Seleccionar sitios apropiados para ubicar estaciones de Recuperación**

**Datos de
alimentación**

Emisiones

**Concentración
de fondo**

**Característica del
Suelo**

Terreno

Modelo

Resultante

Concentraciones

Clases de modelos

Empíricos

**Análisis
estadísticos**

Semi-empíricos

**Modelos
Gaussianos**

Numéricos

**Características
químicas y físicas**

Programa **HSSM** (*Hydrocarbon Spill Screening Model*).

- USEPA, 1994.
- ANALÍTICO. Simula el flujo de FLNAL y disueltos desde la superficie hasta el nivel freático; tiene en cuenta una dispersión radial del FLNAL sobre el nivel de agua.
- Es un modelo unidimensional en la ZNS, radial en la franja capilar y, bidimensional en la ZS, teniendo en cuenta en esta última, fenómenos de advección y dispersión.
- Incluye distintos módulos de cálculo para cada medio: KOPT (*Kinematic Oily Pollutant Transport*), OILENS y TSGPLUME (*Transient Source Gaussian Plume*).
- **Hidrocarburos en FLNA y disolventes clorados.**

Programa **RBCA** (*Risk-Based Corrective Action*).

- Connor, J.A, 2007.
- ANALÍTICO. Programa destinado a la Evaluación de Riesgos Ambientales producidos por emplazamientos contaminados. La aplicación considera diferentes escenarios y vías de exposición de la población humana a contaminantes antrópicos considerando el suelo superficial como medio fuente, permitiendo la caracterización del emplazamiento como contaminado o no siguiendo criterios de riesgos.
- Metales; disolventes clorados; VOCs; Pesticidas/PCBs; hidrocarburos

Programa **RISC** (*Risk-Integrated Software for Clean-Ups*)

- Lynn R. Spence, Spence Environmental Engineering, Pleasanton, California. Terry Waldon, BP Oil International, Sunbury, UK. Distribuido por *GroundwaterSoftware*;
- ANALÍTICO. Programa destinado a la Evaluación de Riesgos Ambientales para la salud humana y de los ecosistemas producidos por contaminantes en el suelo. La aplicación evalúa los impactos, tanto carcinogénicos como sistémicos, para 14 escenarios diferentes, permitiendo el análisis determinista y probabilístico (distribuciones de Monte Carlo) del riesgo para la evaluación de la contaminación de un suelo.
- Metales; disolventes clorados; VOCs; Pesticidas/PCBs; hidrocarburos

Programa **ARAMS** (*Adaptive Risk Assessment Modeling System*)

- *U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, y U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, Edgewood, MD., 2005.*
- ANALÍTICO. Herramienta informática para la modelización del flujo y transporte de distintos contaminantes y sus efectos sobre la salud humana y ecosistemas. Al igual que otras aplicaciones para distintos compuestos. Realiza análisis de incertidumbre e incluye distintos módulos de cálculo para diferentes medios, entre otros: suelo, agua subterránea y agua superficial.
- **Hidrocarburos halogenados y no halogenados, explosivos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), PCB, metales.**

Programa BIOSCREEN

- AFCEE (*Air Force Center for Environmental Excellence, Houston –Texas*). USEPA, 1997
- ANALÍTICO. Es una herramienta programada en Microsoft Excel®, de fácil manejo. Simula procesos de atenuación natural de suelos con presencia de hidrocarburos. Está basado en la solución analítica de Domenico para la migración de fase disuelta en el agua subterránea y asume propiedades del acuífero y de las condiciones de flujo uniformes para la región modelada. Puede considerar un único contaminante por simulación. Se obtienen resultados como: extensión de la pluma, tiempo de permanencia (sin degradación, con degradación de primer orden y reacción instantánea), y tiempos de tránsito.

Hidrocarburos

Programa MODFLOW, MT₃DMS

- USGS (*United States Geological Service*); y grupo de hidrogeología de la Universidad de Alabama (fondos de *U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station* para el *Strategic Environmental Research and Development Program*).
- NUMÉRICO. MODFLOW es un modelo de diferencias finitas para simulación tridimensional de flujo de agua subterránea. Permite considerar ríos, lagos, evapotranspiración, recarga, dispersión anisótropa, y varias cinéticas de reacción y adsorción. MT₃DMS es un modelo tridimensional que simula el transporte de contaminantes en el agua subterránea, considerando advección, de pre- y post-procesador como GROUNDWATER VISTAS (*software* comercial que permite al usuario generar los ficheros de entrada necesarios para aplicar estos modelos y también para visualizar sus resultados).

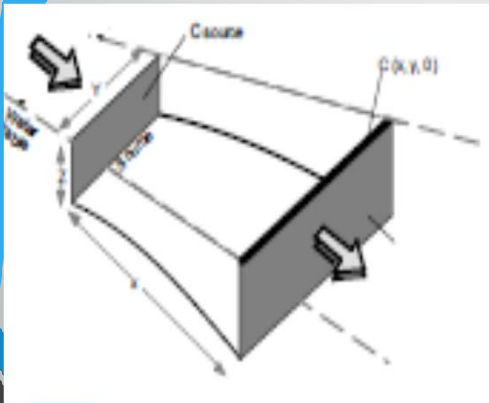
Compuestos orgánicos e inorgánicos

BIOSCREEN

- Paquete de Programa de atenuación natural, basado en el modelo de transporte tridimensional de Domenico (1987). El Modelo original asume una fuente plana, flujo perpendicular al agua subterránea, simula la liberación de orgánicos moviéndose en el agua subterránea.
- La solución de Domenico toma en cuenta los efectos de transporte advectivo, dispersión tridimensional, adsorción y decaimiento de primer orden.
- En este programa se ha adaptado la solución de Domenico para proveer tres diferentes modelos
 - Transporte con no decaimiento
 - Transporte con decaimiento de primer orden
 - Transporte con una reacción de biodegradación instantánea.

Modelo de Domenico esta diseñado para el transporte multidimensional para especies contaminantes

Asumpsiones El acuífero y el campo de flujo son homogéneos e isotrópicos



La velocidad del agua subterránea es suficientemente rápida que la difusión molecular en termino de dispersión puede ser ignorado

Adsorción es un proceso reversible y representado por una isoterma lineal

Facilidad de Uso

- BIOSCREEN es un modelo simple con una única ventana de entrada con menos de 20 parámetros. La puesta a punto y ejecución del modelo son rápidas. Los usuarios deberían tener nociones básicas de hidrogeología y modelos de transporte en agua subterránea para asegurar la introducción de parámetros con valores apropiados y tener una buena comprensión de las limitaciones del modelo.

Requerimiento

- El requerimiento de parámetros hidrogeológicos como los mencionados, implica la obtención de datos mediante investigación intrusiva del emplazamiento. Datos que se requerirán de todas formas para la definición la línea base de las condiciones del agua subterránea del emplazamiento.
- El usuario debe definir las dimensiones de la zona fuente de contaminación del agua subterránea (dimensiones, concentraciones, y masa total de contaminante) usados en BIOSCREEN. BIOSCREEN no modela la migración de contaminantes vía aire, o el flujo superficial de líquidos o la migración de contaminantes en superficie producidos por vertidos accidentales. Otros métodos o modelos deben emplearse antes de éste para predecir cuál es la fuente de contaminación más probable producida por un vertido accidental.

Utilidad del Modelo

- BIOSCREEN se utiliza para predecir las concentraciones en fase disuelta en el agua subterránea que llega a un punto desde una fuente, y su evolución con el tiempo. Puede ser utilizado para calcular el volumen de agua subterránea con concentraciones por encima de los niveles de referencia producidos por una fuente de contaminación sub-superficial. El volumen de agua subterránea impactada es un parámetro clave en la evaluación del daño.

PRINCIPALES PARÁMETROS DE ENTRADA

- **DATOS DE ENTRADA DEL USUARIO:**

- Parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica, gradiente hidráulico, porosidad efectiva).
- Parámetros de transporte del contaminante (coeficientes de dispersión, coeficientes de partición, fracción de carbono orgánico en el acuífero).
- Parámetros de biodegradación (vida media de primer orden del contaminante, concentraciones de los aceptores de electrones disponibles).
- Características de la zona de vertido (anchura y profundidad de la zona de vertido, concentración de contaminante en la zona de vertido, masa de contaminante en la zona de vertido).
- Dimensiones del modelo (longitud y anchura de la zona modelizada y duración de la simulación).

- **DATOS/VALORES POR DEFECTO:**

- El modelo no contiene valores por defecto o una base de datos de valores.

RESULTADOS

- Gráficos en dos ejes de concentración frente a distancia de la fuente a lo largo del eje central de la pluma para 10 intervalos temporales.
- Gráficos en tres ejes de concentración frente a distancia de la fuente a lo largo del eje central de la pluma y la distancia transversal a la dirección del flujo de agua subterránea para 10 intervalos temporales.
- Los gráficos comparan las concentraciones predichas con (i) no degradación, (ii) decrecimiento de primer orden y (iii) reacción instantánea.

Limitaciones

- Sólo puede modelarse un hidrocarburo simultáneamente. Esto crea una limitación cuando se usa el modelo de reacción instantánea, ya que no permite la demanda de aceptores de electrones de otros constituyentes del hidrocarburo.
- Como modelo analítico, BIOSCREEN asume condiciones simples de flujo de agua subterránea. El modelo no debería utilizarse cuando los sistemas de bombeo creen un complicado campo de flujo. Además, el modelo no debería aplicarse cuando los gradientes verticales de flujos afecten al transporte de contaminantes.
- Como modelo de cribado, BIOSCREEN simula procesos que en el campo se producen de forma más compleja. El modelo no debería aplicarse cuando se requieran resultados detallados que se ajusten expresamente a las condiciones del lugar. En esos casos deberían aplicarse modelos numéricos más exhaustivos.
- El modelo requiere al usuario la definición de las características de la fuente a agua subterránea. En el caso de escenarios de accidentes industriales estos parámetros no se conocerán, por lo que será necesario el uso de otras herramientas o métodos para determinarlos.

Transporte de Solutos sin perdidas

- Este modelo es ideal para predecir el movimiento de solutos conservativos tales como el cloruro.
- Los mecanismos de atenuación son la dispersión en la dirección longitudinal, transversal y vertical, además de la adsorción de contaminantes en una matriz de suelo.

Transporte de soluto con perdidas a razón de primer orden

- Con este modelo la velocidad de degradación es proporcional a la concentración del soluto. Mientras más alto es la concentración mayor será la velocidad de degradación. Este es un método convencional para simular la biodegradación de compuesto de hidrocarburos. El coeficiente de decaimiento de primer orden se utiliza como parámetro de calibración a fin de ajustar los valores del modelo con los datos de campo.

Transporte de soluto con reacción de biodegradación instantánea.

- La degradación de contaminantes orgánicos en agua subterránea es más difícil utilizando la ecuación de primer orden debido a que el limitante del elector aceptor no es considerado. Este modelo brinda una solución aproximada por medio de una superposición.

Mecanismos de Transporte

- La advección es el transporte de contaminantes en corrientes acuáticas de flujo a una velocidad media lineal de filtración.
- La mezcla de flujo de agua a través de los espacios porosos interconectados se conoce como dispersión mecánica o hidrodinámica o simplemente dispersión. La dispersión mecánica contribuye a la expansión de masa de sustancias contaminantes en un volumen progresivamente mayor, facilitando una mezcla con aguas carentes de estas sustancias.

Datos Hidrogeologicos

- **Velocidad de Filtración** (Seepage velocity). Velocidad del agua a través de poros que es igual a la velocidad de Darcy entre la porosidad. El modelo BIOSCREN no esta formulado para simular los efectos de una difusión química, el transporte se da en regímenes muy lentos. Valores típicos 0.5 a 200 p/ año.
- **Conductividad Hidráulica** (K cm/s). Conductividad hidráulica horizontal en un medio saturado.

Arcilla	Menor de 1 E-6
Limo	1 E-6 a 1 E-3
Arena limosa	1 e-5 a 1 e-1
Arena limpia	1 e -3 a 1 cm/s
Gravas	mayor de 1 c/s

Conductividad Hidraulica

- La conductividad Hidráulica k es una medida de la capacidad de los materiales para el transporte de agua.
- Los materiales impermeables no consolidados (suelo) pueden considerarse con una k de $1 \text{ e } -9 \text{ cm/s}$ mientras que la de la grava es de $1 \text{ e } 5 \text{ cm/s}$ es decir la grava es 100,000,000,000,000 veces mas permeable que la arcilla.

Datos Hidrogeologicos

- **Gradiente Hidráulico (p/p).** Describe las alteraciones en la pérdida de carga a medida que el agua va fluyendo a través de los materiales porosos. Valores típicos 0.0001 a 0.05 p/p.
- **Porosidad Efectiva (n).** Relación adimensional del volumen de vacío entre el volumen total.

Arcilla	0.01 a 0.20
Limo	0.01 a 0.3
Arena fina	0.10 a 0.30
Arena Gruesa	0.2 a 0.35
Gravas	0.10-0.35
Granito Fracturado	0.00005 a 0.01

Dispersion

- Dispersividad Longitudinal (alfa x)
- Dispersividad Transversal (alfa y)
- Dispersividad Vertical (alfa z)

La dispersión se refiere al proceso en el cual la pluma se dispersa en la dirección longitudinal (a lo largo de la dirección del flujo subterráneo), y vertical debido a la mezcla mecánica. La selección de los valores de dispersión es un proceso difícil. Sin embargo, las técnicas de estimación simple basadas en la longitud de la pluma o la distancia medida son aceptadas.

Dispersión Longitudinal

- $\text{Alpha } x = 3.28 \times 0.83 \times (\log_{10} (lp/3.28))^{-2.414}$
 - Lp en pies

Dispersión Transversal

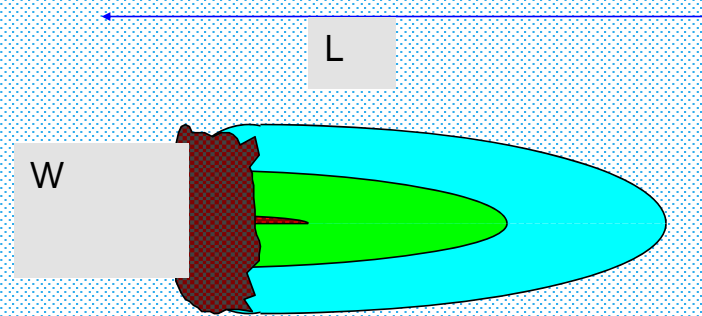
- $\text{Alpha } y = 0.10 \text{ alfa } x$

Dispersión Vertical

- Cuando el espesor de la pluma tiene el mismo tamaño que el espesor del acuífero. Alfa z es muy bajo ($1 \text{ e } -99$ pies)

Longitud estimada de la pluma.

- Este es un parámetro importante para estimar los términos de dispersión.



- Valores típicos para BTEX 50 a 500 pies. Para solventes clorinados, 50 a 1000 pies.

Adsorción

- **Coeficiente de Retardación.** La velocidad a la cual un contaminante disuelto se mueve a través de un acuífero puede reducirse por sorción de los contaminantes. El grado de retardación depende de las propiedades del acuífero y de los constituyentes. El factor de retardación es la relación de la velocidad de infiltración a la velocidad que migran los químicos orgánicos en el agua subterránea.
- Un valor de coeficiente de retardación de 2 indica que la velocidad de infiltración es de 100 pies/año, cuando el químico orgánico se mueve a 50 pies / año.
- **Valores típicos 1 a 2 para BTEX.**

Valores de R

- Usualmente se estima de acuerdo a la densidad, porosidad, coeficiente de partición del octanol, coeficiente de distribución (K_d) o la fracción de carbono orgánico (f_{oc}).
- $R = 1 + (k_d * \rho) / n$ donde $k_d = K_{ow} * f_{oc}$
- **Coeficiente de partición Octanol** : Es una constante adimensional definida por la formula $K_{ow} = C_o / C$ donde C_o es la concentración de Octanol y C es la concentración en agua. Este coeficiente nos sirve para conocer la cantidad de sustancia química que será absorbida por los organismos acuático.
- **Coeficiente de repartición de agua** en suelo sirve para medir la capacidad de una sustancia química para ser adsorbida por el suelo o los sedimentos.

Densidad del Suelo

- Medida en kg/ l o gm/cm. Aunque el valor puede ser medido en el laboratorio en la mayoría de los casos es estimado (1.7 kg/l).

Coeficiente de partición del Carbono K_o (mg/kg, L/kg, mL/g)

- Valores altos indican una gran afinidad de los contaminantes para una fracción de suelo orgánico.

Benzeno	38 L/kg
Tolueno	135 L/kg
Etilbenceno	95 L/kg
Xyleno	240 L/kg

Fracción orgánica de Carbono

- Sin unidades de medida. La fracción de carbono orgánico es posible medirla mediante la recolección de muestras de una zona no contaminada, utilizando el método **ASTM 2974-87**. Si el valor es desconocido se utiliza un valor por defecto de 0.001. Los valores típicos están entre 0.0002 y 0.02.

Biodegradación

- **Coeficiente de decaimiento de primer orden** (λ / año). El coeficiente describe el proceso de decaimiento de primer orden para constituyentes disueltos. El coeficiente de decaimiento de primer orden es igual a 0.693 dividido por la vida media de un contaminante. Por ejemplo, considerando 3 mg/l de benceno disuelto en agua, si la vida media del benceno en la mezcla es de 728 días, entonces la concentración del benceno a los 728 días es de 1.5 mg/l ignorando la volatilización y otras pérdidas.
- Se debe tener mucho cuidado al seleccionar el coeficiente debido a que estos significaría una sobre predicción o baja predicción.
- Los valores típicos están entre 0.1 y 36 /año.

Vida Media

- Tiempo en años para que la concentración de la pluma se reduzca a la mitad a través del acuífero. Nótese que la cantidad de la degradación que ocurre esta relacionada con el tiempo de los contaminante pasan en el acuífero y la degradación no esta relacionada con el tiempo que toma la fuente contaminante en reducirse en la fuente a la mitad.
- Los modeladores utilizan el coeficiente como un parámetro de calibración y lo ajustan hasta obtener los valores del modelo y los datos de campo.

Benzeno	0.02 a 2 años
Tolueno	0.02 a 0.17 años
Etilbenceno	0.016 a 0.62 años
Xyleno	0.038 a 1 año

Módulo de Reacción Instantánea

- **Delta Oxígeno (O₂).** Este parámetro es usado en el modelo de reacción instantánea y es uno de los componentes de la capacidad de biodegradación del agua subterránea como flujo, desde la fuente contaminante hasta la pluma de contaminación.
- Este parámetro es utilizado para la reacción instantánea apropiada para componentes biodegradables como BTEX y no para aquellos componentes recalcitrantes como los solventes clorinados.
- **Valores típicos** Medio = 5.8 mg/l Max = 12.7 mg/l Min = 0.4 mg/l

- **Delta Nitrato (NO₃).** El modelo asume que 4.9 mg de Nitrato son requerido para consumir 1 mg de BTEX (Weidemeir, Wilson, 1995).
- Valores típicos Medio = 6.3 mg/l Max = 69.7 mg/l Min = 0. mg/l
- **Ion Hierro observado** El Ion Hierro es un sub producto re la reacción anaeróbica donde el Ion férrico es usado como elector aceptor. El modelo asume que 21.8 mg/ de Ion ferroso representa el consumo de 1 mg de BETX. Debido a que el Ion Ferroso reacciona con el azufre produciendo una reducción a sulfato, algunos o la mayoría de los iones ferrosos no son observados durante el muestreo de las aguas.
- Valores típicos Medio = 16.6 mg/l Max = 599.5 mg/l Min = 0. mg/l
- **Delta Sulfato.** El modelo asume que 4.7 mg/ de sulfato representa el consumo de 1 mg de BETX.
- Valores típicos Medio = 24.6 mg/l Max = 109.2 mg/l Min = 0. mg/l
- **Delta Metano.** El modelo asume que 0.8 mg/ de metano representa el consumo de 1 mg de BETX.
- Valores típicos Medio = 7.2 mg/l Max = 48.4 mg/l Min = 0. mg/l

Datos Generales

- **Longitud y ancho del área** son las dimensiones físicas a ser modelada. Valores típicos de 10 a 1000 pies. Este valor debe ser ligeramente superior a las dimensiones de la pluma de contaminación.
- **Tiempo de simulación en años**, es el tiempo para el cual se calculará las concentraciones del contaminante. Para simulación en estado estable utilice un valor alto tal como 1000 años. A fin de correlacionar con una pluma existente, estime el tiempo entre la liberación del contaminante y la fecha en el cual se recolectaron los datos. Para predecir la extensión máxima de la pluma incremente el tiempo de simulación hasta que esta no aumente.



MODELO

