

CONTENIDO

Dedicatoria	XI
Sobre los autores	XIII
Prólogo	XVII
Prólogo a la edición española	XXI
1. Introducción	1
Fuentes de contaminación	4
Puesta en práctica de la biorrecuperación en la actualidad	12
Sistemas y procesos de biorrecuperación	13
<i>Biorrecuperación de aguas subterráneas</i>	14
<i>Biorrecuperación de terrenos</i>	14
Tratamiento <i>in situ</i>	15
Tratamiento en lechos	15
Compostaje	16
Biorreactores	17
<i>Depuración biológica de los gases</i>	17
Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en los emplazamientos donde se realiza la biorrecuperación	18
Ventajas e inconvenientes de la biorrecuperación	19
Factores que afectan a la biorrecuperación	20
<i>Factores medioambientales</i>	20
<i>Factores físicos</i>	21
<i>Factores químicos</i>	22
Problemas y cuestiones teóricas	23
Referencias bibliográficas	24
2. Características de los suelos	27
Composición del suelo	27
<i>La fracción mineral</i>	28
<i>Materia orgánica de un suelo</i>	29
Clasificación de un suelo según el tamaño del grano	30
Estructura y agregación de un suelo	32
Gases de un suelo	32
Humedad de un suelo	34
Relaciones másica y volumétrica en la matriz de un suelo	36

Humedad de un suelo	38
Problemas y cuestiones teóricas	39
Referencias bibliográficas	39
3. Procesos y transporte	41
Heterogeneidad	42
Conservación de la masa	43
<i>Continuidad en un medio poroso</i>	45
<i>Conservación de la masa para una familia de productos químicos</i>	47
<i>Avección y dispersión hidrodinámica en un medio poroso</i>	48
<i>Transporte de un compuesto conservativo en un medio poroso</i>	50
<i>Procesos de transferencia entre fases</i>	51
Adsorción	51
Disolución	55
Volatilización y condensación	57
<i>Distribución de contaminantes entre fases</i>	60
Transformación de contaminantes	61
<i>Degradación biológica</i>	61
Transformación biológica de compuestos orgánicos	61
Transformación biológica de compuestos e iones inorgánicos	63
Tasas de degradación biológica	64
<i>Degradación natural</i>	65
<i>Atenuación y biorrecuperación intrínseca</i>	65
<i>Degradación química</i>	65
Fotodegradación	65
Hidrólisis	66
Oxidación-reducción	66
Problemas y cuestiones teóricas	66
Referencias bibliográficas	72
4. Ecología microbiana	73
Clasificación de los organismos vivos	73
Principales grupos de microorganismos	76
<i>Bacterias</i>	77
<i>Hongos</i>	80
<i>Algas</i>	80
<i>Protozoos</i>	81
<i>Asociaciones de microorganismos</i>	82
<i>Distribución de microorganismos en suelos y aguas subterráneas</i>	82
La célula bacteriana	84
<i>Composición química de las células</i>	84
<i>Estructura celular</i>	86
Nucleótidos y plásmidos	86
Citoplasma	87
Membrana celular	87
Pared celular	87
Cápsula (capa mucilaginosa)	88

Pili	88
Flagelos	88
Crecimiento celular	88
<i>Fase de latencia</i>	90
<i>Crecimiento exponencial</i>	90
<i>Fase estacionaria</i>	92
<i>Fase de muerte</i>	93
Factores que influyen en el crecimiento y la biodegradación	93
<i>Necesidad de nutrientes</i>	93
<i>pH del suelo</i>	94
<i>Temperatura</i>	94
<i>Humedad</i>	95
<i>Factores relativos al sustrato</i>	95
<i>Factores microbiológicos</i>	96
Modelización del crecimiento y la biodegradación	97
<i>Consumo del sustrato</i>	98
<i>Métodos empleados para medir las poblaciones microbianas y su actividad</i>	102
<i>Medición del crecimiento</i>	103
Problemas y cuestiones teóricas	103
Referencias bibliográficas	106
5. Metabolismo y producción de energía	109
Energía	110
Energía libre de formación	112
Energía de activación y enzimas	114
Reacciones de oxidación-reducción	115
<i>Tabla de los potenciales de reducción</i>	116
Transportadores de electrones y almacenamiento de energía	119
Diversidad en los procesos metabólicos	119
Metabolismo de la materia orgánica	120
<i>Fermentación</i>	121
<i>Respiración</i>	123
Respiración por nitratos	124
Respiración por sulfatos	124
Metabolismo de la materia inorgánica: litotrofia	125
Bacterias hidrogenotrofas	126
Sulfobacterias	126
Metabolismo fototrófico	127
Cometabolismo	128
Problemas y cuestiones teóricas	129
Referencias bibliográficas	130
6. Biodegradación de compuestos concretos	131
Biodegradación de hidrocarburos	131
<i>Alcanos</i>	132
<i>Alquenos</i>	133

<i>Cicloalcanos</i>	133
<i>Aromáticos</i>	133
<i>Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)</i>	133
<i>Asfaltos y resinas</i>	137
<i>Aditivos oxigenados para combustibles</i>	137
Biodegradación de compuestos alifáticos halogenados	139
Biodegradación de compuestos aromáticos halogenados	141
Resumen	143
Problemas y cuestiones teóricas	144
Referencias bibliográficas	145
7. Tratamiento <i>in situ</i>	149
Recuperación de acuíferos <i>in situ</i>	150
<i>Infiltración</i>	150
<i>Bombeo, tratamiento y reinyección</i>	151
Criterios de diseño	152
Ventajas e inconvenientes	160
<i>Difusión de aire</i>	160
Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el método de difusión de aire	162
Criterios de diseño	162
Biorrecuperación <i>in situ</i> de suelos	163
<i>Método de extracción de vapores del suelo</i>	163
Ventajas y desventajas	168
<i>Bioventilación</i>	169
Caracterización del emplazamiento	169
Diseño del sistema	170
Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) tóxicos	171
Control de temperatura	176
Problemas y cuestiones teóricas	176
Referencias bibliográficas	184
8. Biorrecuperación por vía sólida	185
Tratamiento en lechos	185
<i>Descripción del proceso</i>	186
<i>Aplicación del residuo</i>	187
Aplicación al suelo	188
Aplicación de residuos líquidos	189
<i>Construcción de la unidad de tratamiento en hechos</i>	189
Capa impermeable	189
Red de drenaje	190
Zona de tratamiento del suelo	190
Terraplenes y desmontes	191
Balsa de almacenamiento	191
Sistema de control	192
<i>Control del proceso</i>	192
Labores del suelo	193

Adición de nutrientes	195
Humedad	196
Control de la temperatura	196
Control del pH	197
Adición de oxidantes químicos	197
Protocolo de muestreo	197
<i>Tratamiento de contaminantes en lechos</i>	198
<i>Ventajas e inconvenientes</i>	199
Estudio de un caso real	199
Resultados	200
Preguntas a considerar	200
Compostaje	201
<i>Descripción del proceso</i>	201
<i>Parámetros de diseño</i>	202
Fuente de calor	203
Agentes esponjantes	204
Inóculo	204
Composición de la pila	205
Humedad	206
Generación de calor en las pilas de compost	206
<i>Tipos de sistemas de compostaje</i>	209
Hileras	210
Pilas estáticas	212
Reactores cubiertos	215
Estudio de un caso real	216
Resultados	217
Preguntas para debatir	217
<i>Ventajas e inconvenientes</i>	217
Problemas y cuestiones teóricas	218
Referencias bibliográficas	220
9. Biorrecuperación vía suspensión	225
Descripción del proceso	226
Configuraciones y modelización de reactores	227
<i>Modelización de un reactor de flujo discontinuo</i>	229
<i>Suministro de oxígeno</i>	231
<i>Mezclado</i>	233
<i>Necesidades de nutrientes</i>	235
Pretratamiento	236
<i>Separación por tamaños</i>	237
<i>Lavado del terreno</i>	237
Consideraciones de diseño	239
<i>Inoculación microbiana</i>	239
Población microbiana	239
Desarrollo del inóculo	240
<i>Elección del reactor</i>	242
Parámetros de funcionamiento y control del proceso	245

<i>Concentración de sólidos</i>	246
<i>Aireación y demanda de oxígeno</i>	248
<i>Temperatura y pH</i>	248
<i>Surfactantes y otros aditivos</i>	249
<i>Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)</i>	249
<i>Producción de espumas</i>	250
Estudio de un caso real	250
Cuestiones a considerar	251
Aplicaciones a escala de campo	251
Ventajas e inconvenientes	253
Problemas y cuestiones teóricas	253
Referencias bibliográficas	256
10. Tratamiento biológico de gases	259
Biofiltros	261
<i>Características de los contaminantes</i>	262
<i>Relleno</i>	264
Compost	264
Relleno sintético	265
<i>Distribución del gas</i>	266
<i>Humectación</i>	267
<i>Control del pH</i>	267
<i>Control de la temperatura</i>	268
<i>Aclimatación y condiciones transitorias</i>	269
Biofiltros percoladores	270
Diseño y parámetros de funcionamiento	272
Fenómenos a escala microscópica	275
<i>Modelización teórica del comportamiento de los biofiltros</i>	276
Reacción de orden cero	278
Reacción de primer orden	280
<i>Balace de masas en la fase gaseosa</i>	280
Problemas y cuestiones teóricas	284
Referencias bibliográficas	285
Apéndice A. Símbolos	289
Apéndice B. Glosario	293
Apéndice C. Constantes y factores de conversión	297
Apéndice D. Propiedades físicas del agua	299
Apéndice E. Propiedades de los contaminantes más comunes	301
Apéndice F. Composición de la gasolina	307
Apéndice G. Balances de energía y humedad	309
Índice de autores	319
Índice de temas	323