

Presentación a la Edición en Español	21
Prefacio	22
Acerca de los Autores	27

## **CONCEPTOS Y CASOS DE ESTUDIO**

---

### **Capítulo I**

Introducción	29
Resumen	29
Objetivos del libro	29
¿Qué es un residuo?	29
Preocupaciones en torno a los residuos	31
Conservación de los recursos – Una vieja preocupación	32
Las nuevas preocupaciones – contaminación y deterioro de recursos renovables	34
Manejo Sustentable de Residuos	34
Contaminación	35
Objetivos	37
Enfoques actuales – legislación	37
Regulaciones sobre las salidas	37
Regulaciones con objetivos estratégicos	38
Costos económicos de las mejoras ambientales	40
Internalización de costos ambientales externos	41
Incorporación de objetivos ambientales en el sistema de gestión de residuos	41
Enfoque integral para la gestión de residuos sólidos	42

### **Capítulo II**

#### **Gestión Integral de Residuos**

Resumen	43
Requisitos básicos del manejo de residuos	43
Generación de menos residuos	44
Concepto de Gestión Sustentable de residuos	46
Características de un sistema de Gestión Sustentable de Residuos	46
Un sistema integral	46
Orientación de mercado	48
Flexibilidad	48
Escala	49
Aceptación social	49
Desarrollo del concepto de Gestión Integral de Residuos	50
Implementación de la Gestión Integral de Residuos	51
Importancia de un enfoque holístico	53
Pago por la Gestión Integral de Residuos	53
Planeación del manejo de residuos y Jerarquía de Manejo de Residuos	54
Gestión Integral de Residuos en países con economías en desarrollo	56
Sistemas de GIR para países con economías en vías de desarrollo	56
Tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios	57
Separación y tratamiento de los residuos orgánicos	58
Reciclaje y recuperación informal de residuos	59

Incineración	60
Beneficios de la GIR en países con economías en vías de desarrollo	60
Modelos de la gestión de residuos - ¿por qué modelar?	61
Modelado previo de la gestión de residuos	62
Uso de Evaluación de Ciclo de Vida para la Gestión Integral de Residuos	62
Modelos	62
Datos	63

### Capítulo III

#### Desarrollo de Sistemas de Gestión Integral de Residuos:

##### Casos de Estudio y su Análisis

Resumen	65
Introducción	65
Formato de los casos de estudio	65
Casos de estudio	66
Dificultad para realizar comparaciones	66
Características comunes	71
Legislación	72
La GIR comienza a nivel local	72
Evolución del sistema	73
Casos de estudio detallados - diagramas esquemáticos	73
Definiciones (ver también los capítulos 8-14)	74
Pamplona, España, 1996	75
Resumen - Pamplona	75
Recolección	76
Tratamiento	76
Disposición final	76
Información adicional	76
Prato, Italia, 1997	76
Resumen - Prato	79
Recolección	79
Tratamiento	80
Disposición final	80
Información adicional	80
Brescia, Italia, 1996	80
Resumen - Comunidad de Brescia	81
Recolección	81
Tratamiento	83
Disposición final	84
Información adicional	84
Hampshire, Inglaterra, 1996/97	85
Resumen - Hampshire	85
Recolección	87
Tratamiento	87
Disposición final	87
Información adicional	88

Helsinki, Finlandia, 1997	88
Resumen - Helsinki	88
Recolección	90
Tratamiento	90
Disposición final	91
Información adicional	91
Lahn-Dill-Kreis, Alemania, 1996	91
Resumen - Lahn-Dill-Kreis	91
Recolección	92
Tratamiento	92
Disposición final	94
Información adicional	94
Viena, Austria, 1996	96
Resumen - Viena	96
Recolección	98
Tratamiento	98
Disposición final	99
Información adicional	99
Región de Malmö, Suecia, 1996	99
Resumen - Región de Malmö	100
Recolección	102
Tratamiento	102
Disposición final	103
Información adicional	103
Zürich, Suiza, 1997	103
Resumen - Región de Zürich	104
Recolección	104
Tratamiento	106
Disposición final	106
Información adicional	107
Copenhague, Dinamarca, 1996	108
Resumen - Copenhague	108
Recolección	110
Tratamiento	110
Disposición final	110
Información adicional	111
Seattle, EUA, 1998	111
Resumen - Seattle	112
Recolección	112
Tratamiento	114
Disposición final	114
Información adicional	115
Análisis de casos de estudio - conclusiones	116
Madras, India, 1999 - un caso de estudio de un país con una economía en vías de desarrollo	117
Introducción	117
Desarrollo de EXNORA	118
Grado de éxito de EXNORA	120

Planes futuros para EXNORA	121
Conclusiones	121
Optimización de los sistemas de Gestión Integral de Residuos	121

## Capítulo IV

### Evaluación del Ciclo de Vida

Resumen	123
¿Qué es Evaluación de Ciclo de Vida?	123
Beneficios del Enfoque de Ciclo de Vida	125
Limitaciones del Enfoque de Ciclo de Vida	125
Organización Internacional de Estándares (ISO) - Serie ISO 14040	127
Estructura de una Evaluación de Ciclo de Vida	128
Definición de Objetivos y Alcances	129
Definición del objetivo del estudio	129
Definición de los alcances del estudio	129
Sistema de Producto	129
Unidad funcional	130
Límites del sistema	130
Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	131
Requerimientos en la calidad de datos	133
Análisis de sensibilidad e incertidumbre	134
Transparencia	134
Revisión crítica	134
Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV)	136
Clasificación	139
Selección de categorías de impacto	139
Caracterización	139
Estandarización	139
Ponderación	139
Interpretación de Ciclo de Vida	140
Identificación de problemas significativos	142
Evaluación	142
Conclusiones, recomendaciones y reporte	142
Inventario de Ciclo de vida de los residuos sólidos	143

## Capítulo V

### Inventario de Ciclo de Vida de los Residuos Sólidos

Resumen	145
Gestión Integral de Residuos e Inventario de Ciclo de Vida	145
Inventario de Ciclo de Vida de los residuos	146
Definición de metas	146
¿Cuáles son los propósitos del ICV?	146
Definición de la unidad funcional	147
Límites del sistema	147
¿En dónde están la cuna y la tumba de los residuos?	150
La cuna	152
La tumba	152
¿Con qué nivel de detalle?	156
Etapa de Inventario	157

Resultados del modelo de Inventario de Ciclo de Vida: entradas y salidas del sistema	161
Consumo neto de energía	161
Emisiones al agua y la atmósfera	162
Volumen que se envía a disposición final	162
Materiales recuperados y composta	162
Datos estadísticos adicionales	162
Consumo de combustibles y electricidad en el Ciclo de Vida de los residuos sólidos	163
Consumo de energía eléctrica	163
Consumo de gasolina y diesel	165
Consumo de gas natural	167
Evaluación económica	167
Principales diferencias entre los modelos de Inventario de Ciclo de Vida IWM-1 e IWM-2	169
Otros modelos de ICV para el manejo de los residuos	169
Modelo de la Agencia de Protección Ambiental de E.U.A. para el manejo de residuos	169
Modelo de la Agencia Ambiental de Gran Bretaña	171
Modelo CSR / EPIC	172
Relación entre un Inventario de Ciclo de Vida para residuos y los Inventarios de Ciclo de Vida para productos o envases	172
<b>Capítulo VI</b>	
<b>Casos de Estudio de Inventario de Ciclo de Vida</b>	175
Resumen	145
Gestión Integral de Residuos e Inventario de Ciclo de Vida	
Inventario de Ciclo de Vida de los residuos	146
Resumen	175
Introducción	175
Caracas, Venezuela – Escenarios de ICV para la recuperación de materiales reciclables	175
Herramienta de ICV	176
Escenario Inicial	176
Escenario con Reciclaje	177
Comparación	177
Conclusiones	177
Reconocimiento	178
Pamplona, España – Escenarios de ICV para la recolección separada de materiales orgánicos	178
Herramienta de ICV	179
Escenario inicial	179
Escenarios para Pamplona	179
Resultados	179
Conclusiones	182
Reconocimiento	182
Gloucestershire county, RU – Escenarios de ICV para compostaje, reciclaje e incineración	182

Desarrollo de escenarios de gestión de residuos para Gloucestershire	182
Escenarios iniciales y alternativos	184
Resultados	184
Conclusiones 1	186
Aplicación	187
Estudios adicionales	187
Uso de resultados de ICV por las autoridades locales	188
Conclusiones 2	188
Reconocimiento	189
Área Metropolitana de Barcelona – ICV para la planeación de la estrategia a largo plazo de la Gestión Integral de Residuos	189
Recolección y disposición	190
Uso de una herramienta de ICV para ayudar a desarrollar el nuevo sistema de Gestión Integral de Residuos	190
El nuevo sistema de Gestión Integral de Residuos	192
Conclusiones	194
Londres, Ontario, Canadá- ICV para la evaluación de diferentes opciones de reciclaje de materiales	194
Resultados derivados del modelo de ICV	197
Energía	198
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	199
Conclusiones	200
Reconocimiento	201
<b>Casos de Estudio de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América</b>	201
Antecedentes	201
Herramienta de Apoyo a las Decisiones	201
Prueba de la Herramienta de Apoyo para las Decisiones en comunidades locales	203
Caso de estudio de Wisconsin: metodología y resultados	205
Composición y generación de residuos y datos de reciclaje	205
Opciones de recolección, reciclaje y disposición para residuos residenciales, multifamiliares y comerciales	206
Suposiciones clave utilizadas	206
Discusión de resultados	206
Reconocimientos	209
<b>Casos de estudio de la Agencia Ambiental de Gran Bretaña</b>	209
Introducción	210
Interpretación de los datos obtenidos de WISARD	212
Consejo de Brighton & Hove	213
Consejo del Condado de Carmarthenshire	213
Consejo de la Ciudad de Nottingham	213
Consejo del Condado de Dorset	213
Consejo de Borough Metropolitan Gateshead	213
Consejo de Borough Pendle (Lancashire)	213
Consejo del Condado de Powys	214
Consejo del Condado de Shropshire	214

Consejo del Condado de Surrey	215
Conclusiones	215
Reconocimientos	215
¿De aquí a dónde?	216
<b>Capítulo VII</b>	
<b>Panorama Global</b>	217
Introducción	217
De los resultados de Inventario de Ciclo de Vida a la sustentabilidad	219
Avances logrados hasta ahora	219
Desarrollo a futuro	220
<b>ELEMENTOS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS</b>	
<b>Capítulo VIII</b>	
<b>Generación y Composición de los Residuos Sólidos</b>	223
Resumen	223
Introducción	224
Generación de residuos sólidos	225
Residuos sólidos considerados en este estudio	229
Cantidades generadas de RSM	229
Composición de los RSM	231
Por materiales	232
De acuerdo a su composición química	238
Variabilidad en la generación de RSM	238
Efectos de la reducción en la fuente	241
Clasificación de los RMS – necesidad de estandarización	241
Métodos de análisis de RSM	242
<b>Capítulo IX</b>	
<b>Recolección de Residuos</b>	247
Resumen	247
Introducción	247
Separación en el hogar	248
Habilidad de separación	248
Motivación para la separación	248
Sistemas de recolección: en la Acera vs. Centro de Acopio	251
Sistemas de recolección	253
Materiales reciclables secos	253
Bancos para materiales de un mismo tipo	256
Centros para materiales reciclables mezclados	257
Recolección en la acera	257
Cantidad de materiales recolectados	258
Niveles de contaminación	259
Residuos orgánicos de cocina y jardín	263
Definición de materiales orgánicos	
Ventajas de la inclusión de papel no reciclable en la definición de materiales orgánicos	264

Posibles desventajas de la inclusión de papel no reciclable en la definición de residuos orgánicos	267
Cantidad de residuos orgánicos recolectados	267
Niveles de contaminación	268
Métodos de Recolección	270
Residuos de Envases y Embalajes	271
Estado actual de la implementación	272
Costos de diferentes esquemas de recuperación	275
Resultados de los esquemas de recuperación de envases usados	276
Materiales peligrosos en los residuos domésticos – la excepción que prueba la regla	277
Residuos remanentes	278
Sistemas de precio con tasa variable	279
Caso de estudio: San José, California, E.U.A.	280
Caso de estudio: Fort Collins, Colorado, E.U.A.	281
Lecciones aprendidas	282
Esquemas integrales de recolección	283
<b>Capítulo X</b>	
<b>Separación Central</b>	289
Resumen	289
Introducción	289
Técnicas generales de separación	289
Separación manual	290
Separación mecánica	291
Tamizado	291
Clasificación por aplicación de aire	292
Cuchillo de aire	292
Separación por diferencia de densidad	292
Flotación	292
Separación magnética	293
Separación electromagnética	293
Separación electrostática	294
Sistemas de detección y derivación	294
Trituración por rodillos	295
Fragmentación	295
Embalaje	296
Separación Central en una Planta de Recuperación de Materiales (PRM)	296
Diseño de la Planta de Recuperación de Materiales (PRM)	297
Avances en la tecnología de las PRM	
Procesamiento de materiales reciclables secos en un solo flujo	299
Procesamiento integral de residuos	300
Separación de residuos mezclados para Combustible Derivado de Residuos (CDR)	300
Situación actual de los CDR	302
Procesos de separación de CDR	303
Recepción y almacenamiento de residuos	304



Extracción y tamizado de residuos	304
Refinación de combustibles	305
Preparación de combustible	305
Almacenamiento de combustible y control de calidad	306
<b>Capítulo XI</b>	
<b>Tratamiento Biológico</b>	307
Resumen	307
Introducción	307
Objetivos del tratamiento biológico	309
Tratamiento previo a la disposición	310
Reducción de volumen	310
Estabilización	310
Esterilización	311
Valorización	312
Producción de biogas	312
Producción de composta	312
Generalidades del tratamiento biológico	313
Procesos de tratamiento biológico	317
Pretratamiento	319
Procesamiento aerobio - compostaje	322
Estabilización en seco	327
Procesamiento anaerobio - biogasificación	328
Digestión anaerobia "húmeda"	329
Digestión anaerobia "seca"	329
Maduración y refinación	330
Mercados para la composta	331
Estándares para composta	335
<b>Capítulo XII</b>	
<b>Tratamiento Térmico</b>	341
Resumen	341
Introducción	341
Objetivos del tratamiento térmico	341
Situación actual del tratamiento térmico	342
Incineración masiva de RSM	345
Incineradores con parrillas	347
Incineradores de lecho fluidizado	348
Quemadores u hornos rotatorios	349
Incineradores con cámaras múltiples	349
Hornos con hogares múltiples	349
Pirólisis con agotamiento de aire	350
Plantas de Incineración con Recuperación de Energía (IRE)	351
Control de emisiones	352
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	353
Monóxido de Carbono (CO)	353
Ácido clorhídrico (HCl)	353
Ácido fluorhídrico (HF)	353

Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> )	353
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	354
Materia particulada	354
Metales Pesados (Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni y Cr)	354
Dioxinas y furanos	355
Equipo para Limpieza de Gases	357
Precipitadores electrostáticos (PE)	357
Filtros de tela	359
Depuradores de gases	359
Control de nitrógeno	361
Tratamiento de residuos sólidos	361
Quema de combustible derivado de residuos	363
Quema de papel y plástico separados en la fuente	363
Límites de emisiones	365
Aceptación pública	366
<b>Capítulo XIII</b>	
<b>Disposición Final</b>	369
Resumen	369
Introducción	369
Objetivos de la Disposición Final	370
Actividades actuales de disposición final	371
Filosofía básica de la disposición final	372
Ubicación de los sitios de disposición final	374
Diseño y operación del sitio de disposición final	375
Lixiviados de los Rellenos Sanitarios	377
Biogás de los Rellenos Sanitarios	378
Residuos de entrada	380
Recuperación informal de residuos	381
<b>Capítulo XIV</b>	
<b>Reciclaje de Materiales</b>	383
Resumen	383
Introducción	383
Procesos de manufactura y reciclaje de materiales	386
Transporte	386
Manufactura y reciclaje de papel y cartón	386
Vidrio	389
Fabricación y reciclaje de metales ferrosos	391
Manufactura y reciclaje de metales no ferrosos	394
Fabricación y reciclaje de plásticos	395
Materiales textiles	397

## **GUÍA DE MODELO IWM-2**

---

### **Capítulo XV**

#### **IWM-2: un Modelo de Inventario de Ciclo de Vida para la Gestión Integral de Residuos**

	399
Resumen	399
Introducción	399
¿Quiénes son los usuarios potenciales del modelo?	399
¿Cuáles son las aplicaciones potenciales del modelo?	399
¿Qué datos se necesitan para correr el modelo?	399
¿Cuál es el objetivo del modelo?	400
¿Cuáles son los alcances del modelo?	400
¿Cuál es la unidad funcional del modelo?	401
¿Cuáles son los límites (cuna y tumba) del sistema en el modelo?	401
Procedimiento de asignación	401
Modelo IWM-2 para computadora	402
Guía del usuario	405
Bienvenido a IWM-2	405
Pantalla principal de IWM-2	407

### **Capítulo XVI**

#### **Entradas de Residuos**

	409
Definición de entradas de residuos para el modelo de ICV para computadora - fuentes de datos	409
Clasificación de residuos sólidos empleados en el Inventario del Ciclo de Vida	409
Pantalla de Entradas de Residuos	410
Tabulador 1 Área del sistema	411
Tabulador 2 Residuos Domésticos Recolectados	412
Tabulador 3 Llevar Residuos Domésticos Entregados en Centros de Acopio	413
Tabulador 4 Residuo Comercial Recolectado	414
Tabulador 5 Resumen de Entradas	415

### **Capítulo XVII**

#### **Recolección de Residuos**

	417
Resumen	369
Definición de los límites del sistema	417
Cargas ambientales debidas al transporte	418
Otras cargas	420
Bolsas de recolección	421
Recipientes de recolección	424
Tratamiento previo de los residuos	424
Costos económicos	425
Sistemas de acopio de materiales	425
Sistemas de recolección en la acera	425

Recolección de Residuos	426
Tabulador 1 Área del Sistema	426
Tabulador 2 Residuos Domésticos Recolectados	428
Tabulador KCS #1	428
Tabulador MBCS #1	430
Tabulador 3 Residuos Domésticos Acopiados	433
Tabulador 4 Residuos Comerciales Recolectados	435
Tabulador 5 Resumen	437
<b>Capítulo XVIII</b>	
<b>Separación en PRM y CDR</b>	439
Resumen	439
Definición de los límites del sistema	439
Separación en PRM	440
Entradas	440
Salidas	440
Separación para proceso de producción de CDR	441
Entradas	441
Consumo de energía	443
Salidas	443
Costos económicos	
Separación en la planta de recuperación de materiales (PRM)	446
Separación en la planta de combustible derivado de residuos (CDR)	447
Pantalla de separación para PRM / CDR	449
Tabulador 1 Separación en PRM	449
Tabulador 2 Separación para CDRg	452
Tabulador 3 Separación para CDRd	454
<b>Capítulo XIX</b>	
<b>Tratamiento Biológico</b>	455
Resumen	455
Definición de los límites del sistema	455
Residuos entrantes	456
Consumo de energía	456
Procesamiento por compostaje	458
Biogásificación	458
Salidas	459
Materiales secundarios de la separación previa	462
Biogás / energía	462
Composta	463
Cantidad de composta	463
Beneficios ambientales del uso de la composta	466
Separación de residuos remanentes	466
Residuos remanentes del refinamiento por compostaje	468
Emisiones a la atmósfera	468
Emisiones al agua	472
Costos económicos	472

Tratamientos biológicos	472
Tabulador 1 Residuos entrantes al proceso	472
Tabulador 2 Procesamiento por compostaje	474
Tabulador 3 Biogasificación	476
<b>Capítulo XX</b>	
<b>Tratamiento Térmico</b>	477
Resumen	477
Definición de los límites del sistema	477
Disponibilidad de datos	478
Entradas de residuos	479
Consumo de energía	479
Salidas	480
Energía	480
Quema masiva	480
CDR	480
Combustible separado en la fuente	481
Recuperación de energía	481
Emisiones a la atmósfera	482
Quema masiva	482
CDR y combustibles separados en la fuente	484
Emisiones al agua	484
Residuos sólidos remanentes	484
Quema masiva	487
Combustible derivado de residuos	487
Combustible separado en la fuente	487
Costos económicos del tratamiento térmico	490
Quema masiva	490
CDR y materiales separados en la fuente	491
Tratamientos térmicos	491
Tabulador 1 Entradas al proceso	491
Tabulador 2 Incineración #1	492
Tabulador 3 Incineración #2	494
Tabulador 4 Quema de CDR	494
Tabulador 5 Quema de Combustible Derivado de Papel y Plástico	498
<b>Capítulo XXI</b>	
<b>Disposición Final</b>	499
Resumen	499
Definición de los límites del sistema	499
Entradas de residuos	500
Consumo de energía	501
Salidas	502
Producción de biogas en el sitio de disposición final	502
Producción de biogas	502
Gas de los sitios de disposición final derivado de residuos sólidos municipales, residuos remanentes generales y residuos remanentes de la separación	503

Biogas del sitio de disposición final derivado de materiales sometidos a tratamiento biológico	505
Gas proveniente de cenizas depositadas los sitios de disposición final	505
Composición del biogas generado en los sitios de disposición final	505
Control de biogas y recuperación de energía	508
Lixiviados	509
Producción de lixiviados	511
Composición de los lixiviados	511
Recolección y tratamiento de lixiviados	512
Residuos sólidos finales inertes	514
Costos económicos	516
Disposición final	517
Tabulador 1 Entradas al proceso	517
Tabulador 2 Estación de transferencia	518
Tabulador 3 Manejo y costos de la disposición final de residuos no peligrosos	519
Tabulador 4 Manejo y costos de la disposición final de residuos peligrosos	521

## Capítulo XXII

### Reciclaje de Materiales

Resumen	523
Definición de los límites del sistema	523
Entradas	523
Cargas de transporte	526
Energía de las materias primas	526
Papel	528
Balance de carbono	529
Vidrio	533
Metales	534
Metales – Ferrosos	534
Metales – Aluminio	534
Plásticos	539
Textiles	544
Costos económicos	544
Datos del modelo	548
Reciclaje de materiales	549

## Capítulo XXIII

### Variables Avanzadas

Resumen	551
Combustibles y electricidad	551
Tabulador 1 Combustible y electricidad	551
Recolección de residuos	554
Tabulador 2 Sistema de Recolección en la acera	554
Tabulador 2 Sistema de recolección en centros de acopio	556
Tabulador 2 Contenedores y bolsas	557
Tabulador 2 Comerciales	559

Separación para CDR	560
Tabulador 3 CDRg	560
Tabulador 3 CDRd	561
Tratamientos térmicos	561
Tabulador 4 Proceso de Incineración #1	562
Tabulador 4 Proceso de Incineración #2	563
Tabulador 4 Emisiones de la Incineración	563
Tabulador 4 Quema de CDR	565
Tabulador 4 Quema de CDPP	566
Disposición final	566
Reciclaje	567
Tabulador 6 Reciclaje	568
Otras variables	569
Tabulador 7 Otras variables	569
<b>Capítulo XXIV</b>	
<b>Flujo de Residuos</b>	571
Flujo del Sistema de Residuos	571
<b>Capítulo XXV</b>	
<b>Botón de Flujos</b>	573
Flujos	573
<b>Capítulo XXVI</b>	
<b>Botón de Resultados</b>	577
Resultados	577
Tabulador 1 Costos	577
Tabulador 2 Combustibles	578
Tabulador 3 Residuos sólidos	580
Tabulador 4 Emisiones a la Atmósfera	581
Tabulador 5 Efluentes Líquidos	581
Tabulador 6 Guía de Emisiones	582
<b>Capítulo XXVII</b>	
<b>Comparación de Escenarios</b>	583
Comparación de escenarios	583
Haciendo comparaciones	586
Identificación de oportunidades de mejora	590
Importancia de las operaciones en el hogar	590
Mejoras en el sistema	592
<b>Capítulo XXVIII</b>	
<b>¿Qué parámetros cambiaron?</b>	593
¿Qué cambió?	593
Referencias	595
Índice alfabético	616