

# DE **R**ESIDUO A **REC**URSO

El Camino hacia la Sostenibilidad

Editores Científicos

J. Moreno - R. Moral - J.L. García-Morales - J.A. Pascual - M.P. Bernal

**II** Procesos de biotransformación  
de la materia orgánica

**4** Ingeniería y aspectos técnicos  
de la digestión anaeróbica

**COORDINADOR:** Xavier Flotats Ripoll

**AUTORES:** Xavier Flotats Ripoll  
August Bonmatí Blasi  
Belén Fernández García  
Diego Sales Márquez

Enrique Aymerich Soler  
Ion Irizar Picón  
Jordi Palatsi Civit  
Luis Isidoro Romero García

Montserrat Pérez García  
Teresa Vicent Huguet  
Xavier Font Segura





DE  
**R**ESIDUO <sub>A</sub>  
**REC**URSO

El Camino hacia la Sostenibilidad

**II** Procesos de biotransformación  
de la materia orgánica

**4** Ingeniería y aspectos técnicos  
de la digestión anaeróbica

**MP**

**Ediciones Mundi-Prensa**

Calle de Velázquez, 31, 3º Dcha.

28001 Madrid (España)

Tel. (+34) 902 995 240

Fax (+34) 914 456 218

clientes@paraninfo.es



© 2016 Red Española de Compostaje

© 2016 Ediciones Mundi-Prensa

Maquetación: Paula Díaz Martínez

Todos los derechos reservados

Imprime: Servicecom

ISBN: 978-84-8476-629-2

Depósito legal: M-36514-2016

(14837)

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Impreso en España / Printed in Spain

## **Coordinador del Volumen**

**Xavier Flotats Ripoll.** GIRO Unidad Mixta IRTA-UPC. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología. Universidad Politécnica de Cataluña.

## **Autores**

**Xavier Flotats Ripoll.** GIRO Unidad Mixta IRTA-UPC. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología. Universidad Politécnica de Cataluña.

**August Bonmatí Blasi.** GIRO Unidad Mixta IRTA-UPC. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, IRTA, Caldes de Montbui, Barcelona.

**Belén Fernández García.** GIRO Unidad Mixta IRTA-UPC. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, IRTA, Caldes de Montbui, Barcelona.

**Diego Sales Márquez.** Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz.

**Enrique Aymerich Soler.** Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas, CEIT, San Sebastian.

**Ion Irizar Picón.** Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas, CEIT, San Sebastian.

**Jordi Palatsi Civit.** GIRO Unidad Mixta IRTA-UPC. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, IRTA, Caldes de Montbui, Barcelona.

**Luis Isidoro Romero García.** Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos. Universidad de Cádiz.

**Montserrat Pérez García.** Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz.

**Teresa Vicent Huguet.** Departamento de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Barcelona.

**Xavier Font Segura.** Departamento de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Barcelona.



## **Prefacio de la colección**

No cabe duda de que los avances tecnológicos y el bienestar social se sustentan en una gigantesca demanda de recursos naturales, cuya gestión no siempre es la adecuada, y debido a intereses egoístas o simplemente a la irresponsabilidad, se está poniendo en franco peligro el futuro de las siguientes generaciones. Mientras se produce una sobreexplotación del medio ambiente y se dilapida la energía natural en una parte del mundo, en la otra, se padece una escasez sin parangón que condena diariamente a la muerte a miles de personas.

La velocidad a la que nuestra sociedad genera residuos es muy superior a su capacidad para hacerlos desaparecer; y en este caso, el término capacidad incluye disponibilidad de infraestructuras para el tratamiento y/o el reciclado, existencia de personal cualificado con los conocimientos teóricos y prácticos necesarios, aplicación de sistemas de gestión adecuados y sobre todo, en un lugar muy destacado, voluntad para afrontar un problema que hace tiempo ya que nos sobrepasa.

En esta inmensa cantidad de residuos que generamos, los residuos orgánicos ocupan un lugar destacado porque su composición está directamente conectada con la composición de los seres vivos, de todos los seres vivos. A través de los ciclos biogeoquímicos de los elementos, la materia orgánica es mineralizada, mientras que los elementos minerales constituyen la base de la alimentación de los vegetales que a su vez son el sustento de animales, integrándose todo en un proceso cíclico que mantiene el equilibrio de la vida. El problema surge cuando la actividad humana principalmente derivada de la superpoblación y de la falta de respeto por el medio ambiente, genera una cantidad de materia orgánica que literalmente no puede integrarse a la velocidad necesaria en los ciclos naturales, por lo que se produce una acumulación desmesurada que genera una cascada de problemas ambientales extraordinariamente serios.

Aun disponiendo de las herramientas necesarias para solventar estos problemas, existe la necesidad de contar con varios requerimientos que son ineludibles. En primer lugar, es necesaria una conciencia social de que el problema existe y de que es grave. Hace falta también conocimiento, científico y técnico, para desarrollar herramientas adecuadas a situaciones que pueden llegar a ser muy diversas. Por último, se requiere voluntad política para que sean las distintas administraciones, locales, nacionales

e internacionales, las que tomen el protagonismo requerido para conducir y gestionar acciones enfocadas a la solución de esta clase de problemas. No obstante, hay que admitir que en las últimas décadas se están dando pasos en el buen sentido y que la conciencia social es cada vez mayor. Son ejemplos de estas buenas actuaciones, la recogida separada de residuos que se va extendiendo, aunque más lentamente de lo esperado, junto con los sistemas de autogestión para el tratamiento de residuos a escala doméstica y agrícola, la aparición de colectivos muy comprometidos con el respeto al medio ambiente que crean corrientes de opinión, que suscitan debate y que han propiciado el establecimiento de una facción social “verde” que cada día gana más adeptos, la adopción de acuerdos internacionales en los que muchos países se comprometen a contaminar menos, etc.

Ante esta situación, cada individuo, cada colectivo, cada institución debe actuar con responsabilidad para colaborar en la resolución del problema de los residuos que generamos. En este sentido, la Red Española de Compostaje (REC) surgió como una asociación de científicos y técnicos implicados en el tratamiento de los residuos orgánicos hace ya más de una década. Aunque la mayor parte de las actividades de la REC están relacionadas con la investigación, existe un claro compromiso divulgador y una vocación didáctica que han conducido a la redacción de los libros que integran la presente colección. Se pretende con ello ofrecer a profesionales y gestores una base única de conocimiento que les confiera una posición óptima para afrontar los retos planteados.

La colección se ha dividido en tres grandes bloques en los que se ofrecen todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con la tipología de los residuos orgánicos generados, las bases científicas y técnicas de los principales sistemas de tratamiento de residuos orgánicos y por último, un conjunto de aspectos más específicos, resultado de la aplicación de tratamientos concretos, y cuestiones colaterales relacionadas con los residuos orgánicos. Los diferentes libros aportan siempre un estado del arte actualizado y una profundidad conceptual y práctica de extraordinario valor.

Queremos pensar que esta colección “De residuo a recurso: el camino hacia la sostenibilidad” es la mejor aportación que puede ofrecer la REC para contribuir a la resolución de los problemas derivados de la acumulación de residuos orgánicos. En este sentido, se pone a disposición de todo aquél que esté interesado la herramienta más poderosa que existe: el conocimiento.

*Los editores científicos de la colección*

Colección:

# DE RESIDUO A RECURSO

El Camino hacia la Sostenibilidad

## **I. RECURSOS ORGÁNICOS**

1. Residuos agrícolas
2. Residuos ganaderos
3. Residuos agroalimentarios
4. Residuos urbanos

## **II. PROCESOS DE BIOTRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA**

1. Aspectos biológicos de la estabilización aeróbica
2. Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica
3. Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica
4. Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión anaeróbica

## **III. RECURSOS ORGÁNICOS: ASPECTOS AGRONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES**

1. Residuos orgánicos y agricultura intensiva
2. Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor
3. Valorización de la fracción orgánica de residuos municipales: materia prima, proceso y producto
4. Residuos orgánicos en la restauración/rehabilitación de suelos degradados y contaminados
5. Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones
6. Compost y control biológico de las enfermedades de las plantas
7. Uso agrícola de materiales digeridos: Situación actual y perspectivas de futuro
8. Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas



## **Prefacio del volumen**

En este volumen se abordan los aspectos tecnológicos y de implantación del proceso de digestión anaerobia, de forma complementaria al Volumen 2.2. sobre aspectos biológicos. En el primer capítulo se presenta la evolución histórica de la implantación del proceso, el contexto actual y las expectativas de futuro. En el segundo capítulo se aportan los fundamentos conceptuales y matemáticos de diseño y dimensionado de bioreactores utilizados en digestión anaerobia, y en el tercer capítulo se clasifican estos bioreactores, se analizan sus características técnicas y su idoneidad para el procesado de diferentes sustratos, desde residuos sólidos a aguas residuales.

En los capítulos siguientes, del cuatro al siete, se analizan las particularidades de la implantación de la digestión anaerobia en diversos sectores de actividad y tipologías de sustratos: deyecciones ganaderas, fracción orgánica de residuos municipales, lodos de depuración y cultivos energéticos. El capítulo ocho se dedica a la co-digestión anaerobia, esto es, la digestión anaerobia conjunta de varios residuos con composiciones complementarias, prestando especial atención a los residuos orgánicos industriales, a las metodologías para formular la mezcla óptima y a los aspectos económicos. En el capítulo noveno se aborda el tratamiento anaerobio de aguas residuales, un sector con grandes expectativas de aplicación y con la posibilidad de convertir el tratamiento de un coste a un ingreso.

A los pretratamientos para incrementar la producción de biogás se dedica el capítulo diez. El capítulo siguiente, el once, se dedica al control de plantas de digestión anaerobia. Finalmente, el capítulo doce aborda la descripción de las tecnologías de acondicionamiento o limpieza del biogás para su uso en calderas o producción de energía eléctrica, y a las de enriquecimiento en metano (upgrading) para su inyección en la red de gas natural o su uso como combustible para vehículos.

El libro está destinado a estudiantes de titulaciones de Ciencia e Ingeniería, así como a profesionales del sector energético, particularmente relacionados con el diseño y explotación de las plantas de biogás. El enfoque dado es eminentemente formativo y los contenidos son expuestos de forma clara y pedagógica, constituyendo un manual de referencia para los destinatarios mencionados.

*Los autores del volumen*



# II Procesos de biotransformación de la materia orgánica

## 4 Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión anaeróbica

<b>Capítulo 1. Pasado, presente y futuro de la digestión anaerobia</b> . . . . .	.19
1.1. Breve reseña histórica . . . . .	.21
1.2. Implantación de los sistemas de producción de biogás en la Unión Europea. .33	
1.3. Producción de biogás en España . . . . .	.35
1.4. Espectativas de futuro . . . . .	.36
<b>Capítulo 2. Fundamentos del diseño de reactores para la digestión anaerobia</b>	.39
2.1. Introducción al diseño de reactores . . . . .	.41
2.2. Cinética intrínseca del proceso de digestión anaerobia . . . . .	.42
2.3. Efectos de las etapas de transporte físico en la cinética observada . . . . .	.47
2.4. Ecuaciones de diseño para reactores con flujo ideal . . . . .	.66
<b>Capítulo 3. Reactores aplicables al proceso. Condiciones operacionales</b>	.91
3.1. Introducción . . . . .	.93
3.2. Procesos de cultivo en suspensión . . . . .	.97
3.3. Procesos anaerobios de cultivo fijo . . . . .	125
3.4. Procesos múltiples . . . . .	134
<b>Capítulo 4. Aplicación de la digestión anaerobia a deyecciones ganaderas</b>	143
4.1. Introducción . . . . .	145
4.2. Características de las deyecciones ganaderas y posibilidad de tratamiento anaerobio . . . . .	145
4.3. Efectos de la digestión anaerobia y potenciales de producción de biogás . .	149
4.4. Estrategias para el incremento de la producción de biogás . . . . .	154
4.5. Digestores anaerobios para el tratamiento de deyecciones ganaderas. . . .	157
4.6. Escala de implantación. Instalaciones individuales o colectivas . . . . .	165
4.7. Post-tratamientos a la digestión anaerobia . . . . .	169

<b>Capítulo 5. Aplicación de la digestión anaerobia a la fracción orgánica de residuos municipales . . . . .</b>	<b>179</b>
5.1. Los residuos sólidos urbanos . . . . .	181
5.2. Digestión anaerobia de RSU . . . . .	183
5.3. Procesos comerciales de digestión anaerobia de RSU. . . . .	188
<b>Capítulo 6. Aplicación a lodos de depuración . . . . .</b>	<b>201</b>
6.1. Introducción . . . . .	203
6.2. Producción de biogás a partir de lodos. . . . .	207
6.3. Estrategias para incrementar la producción de biogás . . . . .	211
<b>Capítulo 7. Aplicación a cultivos energéticos y catch crops . . . . .</b>	<b>223</b>
7.1. Introducción . . . . .	225
7.2. Cultivos energéticos utilizados en digestión anaerobia . . . . .	226
7.3. Tecnología anaerobia . . . . .	231
7.4. Cultivos captadores de nitrógeno ( <i>catch crops</i> ) . . . . .	236
7.5. Balance energético del sistema. Análisis del ciclo de vida . . . . .	237
<b>Capítulo 8. Co-digestión anaerobia de sustratos orgánicos de diferente origen . . . . .</b>	<b>241</b>
8.1. Contexto general de la co-digestión anaerobia . . . . .	243
8.2. Criterios de selección de co-sustratos . . . . .	248
8.3. Optimización de la mezcla de co-sustratos . . . . .	254
8.4. Ejemplos de plantas de co-digestión . . . . .	257
8.5. Evaluación económica de plantas de co-digestión . . . . .	263
<b>Capítulo 9. Aplicación de la digestión anaerobia a la depuración de aguas residuales de alta carga orgánica . . . . .</b>	<b>271</b>
9.1. Contexto general de las aguas residuales de alta carga orgánica . . . . .	273
9.2. Características de las aguas residuales de alta carga . . . . .	275
9.3. Acondicionamiento de los sustratos . . . . .	277
9.4. Tecnologías anaerobias para el tratamiento de vertidos de alta carga orgánica . . . . .	279
9.5. Factores que rigen la adecuada elección de un reactor para el tratamiento de aguas de alta carga. . . . .	282

9.6. Combinación de reactores . . . . .	286
9.7. Casos de estudio . . . . .	291
<b>Capítulo 10. Pretratamientos para el incremento de la producción de biogás . . . . .</b>	<b>329</b>
10.1. Introducción . . . . .	331
10.2. Métodos mecánicos . . . . .	333
10.3. Métodos térmicos . . . . .	338
10.4. Métodos químicos . . . . .	343
10.5. Métodos biotecnológicos . . . . .	345
10.6. Procesos híbridos . . . . .	346
10.7. Aspectos ambientales. . . . .	348
<b>Capítulo 11. Control automático de digestores anaerobios . . . . .</b>	<b>351</b>
11.1. Visión general del control en los procesos biológicos de tratamiento . . .	353
11.2. Indicadores de estabilidad en la digestión anaerobia . . . . .	355
11.3. Instrumentación en procesos anaerobios . . . . .	359
11.4. Automatización y control avanzado de procesos anaerobios . . . . .	360
11.5. Modelado matemático y simulación para diseño de controladores . . . .	364
11.6. Conclusiones . . . . .	375
<b>Capítulo 12. Tratamientos y usos del biogás . . . . .</b>	<b>377</b>
12.1 Introducción. . . . .	379
12.2. Caracterización del biogás . . . . .	379
12.3. Usos del biogás . . . . .	384
12.4. Acondicionamiento del biogás. . . . .	390
12.5. Enriquecimiento del biogás en metano . . . . .	397
<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>407</b>

## Glosario de términos

A	Área	$L^2$
ABR	Anaerobic baffled reactor	
ADM1	Anaerobic digestion model number 1	
AF	Anaerobic filter	
AFB	Anaerobic fluidized bed	
AFBR	Anaerobic fixed bed reactor	
AFR	Anaerobic flotation reactor	
AI	Alcalinidad intermedia	$ML^{-3}$
ANAMMOX	Anaerobic ammonium oxidation	
AnMBR	Anaerobic membrane bioreactor (AMBR)	
AnRBC	Anaerobic biological rotating contactor (ARBC)	
AnSBR	Anaerobic sequencing batch reactor (ASBR)	
AP	Alcalinidad parcial	$ML^{-3}$
APBR	Anaerobic packed bed reactor	
APPA	Asociación de productores de energías renovables	
AT	Alcalinidad total	$ML^{-3}$
$a_s$	Área superficial	$L^{-1}$
ASC	Acidogenic substrate as carbon	$ML^{-3}$
AGCL	Ácidos grasos de cadena larga	
AGV	Ácidos grasos volátiles	
B	Constante de la cinética de Contois	$MM^{-1}$
CASBR	Carried assisted sludge bed reactor	
$C_i$	Concentración del componente i	$ML^{-3}$
COT	Carbono orgánico total	
CSTR	Continuous stirred tank reactor	
$D_e$	Difusividad efectiva del sustrato	$L^2t^{-1}$
DBO	Demanda biológica de oxígeno	$ML^{-3}$
DFR	Downflow reactor	
DOC	Dissolved organic carbon	$ML^{-3}$
DQO	Demanda química de oxígeno	$ML^{-3}$
DSFF	Downflow stationary fixed film	

EB	Expanded bed	
EBR	Expanded bed reactor	
EDAR	Estación depuradora de aguas residuales	
$E_{DQO}$	Eliminación de DQO	
EGSB	Expanded granular sludge bed	
EMMC	Entrapped mixed microbial cell	
FA	Filtro anaerobio	
FB	Fluidized bed	
FBR	Fluidized bed reactor	
FP	Flujo pistón	
GEI	Gases de efecto invernadero	
IASB	Inverted anaerobic sludge blanket	
IC	Internal circulation reactor	
k	Constante de velocidad de primer orden	$t^{-1}$
$K^*$	Constante de saturación adimensional	
$K_a$	Constante de disociación	
$K_{As}$	Coefficiente de transferencia de materia sólido-líquido	$Lt^{-1}$
$k_e$	Constante de metabolismo endógeno	$t^{-1}$
$K_{global}$	Coefficiente global (combinación de etapas)	$t^{-1}$
KS	Constante de saturación por sustrato en la cinética de Monod	$ML^{-3}$
L	Espesor de biopelícula	L
LE	Lecho expandido	
LER	Lista europea de residuos	
LF	Lecho fluidizado	
$L_R$	Longitud reactor de flujo en pistón	L
MBT	Mechanical-biological treatment	
$M_{CH_4}$	Volumen total de metano generado	$L^3$
MS	Materia seca	$ML^{-3}$
$m_s$	Coefficiente de consumo de sustrato para mantenimiento	$t^{-1}$
NAC	Non acidic carbón	$ML^{-3}$
NAT	Nitrógeno amoniacal total	$ML^{-3}$
NDA	Número de Damköhler, adimensional	

$N_i$	Número de moles del componente i	M
NOMC	Número de oxidación medio de los átomos de carbono	
$N_s$	Densidad de flujo de materia (sustrato)	$ML^{-2}t^{-1}$
NSC	Non soluble carbon	$ML^{-3}$
NTK	Nitrógeno Kjeldahl	$ML^{-3}$
P	Concentración de producto	$ML^{-3}$
$P_0$	Concentración inicial de producto	$ML^{-3}$
PBM	Potencial bioquímico de metano	$L^3M^{-1}$
PC	Poder calorífico	$ML^{-1}t^{-2}$
$pK_a$	$-\log_{10} K_a$	
POA	Procesos de oxidación avanzada	
PSA	Pressure swing adsorption	
PT	Fósforo total	$ML^{-3}$
PVC	Policloruro de vinilo	
$Q_{CH_4}$	Caudal de producción de metano diario	$L^3t^{-1}$
r	Radio	L
R	Radio de partícula esférica	L
$r_{CH_4}$	Velocidad de producción de metano	$t^{-1}$
$r_{GLOBAL}$	Velocidad global	$ML^{-3}t^{-1}$
$r_i$	Velocidad de generación del componente i	$ML^{-3}t^{-1}$
$r_p$	Velocidad de generación de producto	$ML^3t^{-1}$
$r_{PS}$	Velocidad de formación de productos simples	$ML^{-3}t^{-1}$
(-rS)	Velocidad de consumo de sustrato	$ML^{-3}t^{-1}$
RSU	Residuos sólidos urbanos	
$r_x$	Velocidad de crecimiento de los microorganismos	$ML^{-3}t^{-1}$
S	Concentración de sustrato	$ML^{-3}$
$S^*$	Concentración de sustrato adimensional	
SCADA	Supervisory control and data acquisition	
$S_L$	Concentración de sustrato en fase líquida	$ML^{-3}$
$S_R$	Concentración de sustrato en la superficie de la fase sólida	$ML^{-3}$
SSV	Concentración de sólidos suspendidos volátiles	$ML^{-3}$
SST	Concentración de sólidos suspendidos totales	$ML^{-3}$

ST	Sólidos totales	ML <sup>-3</sup>
SV	Sólidos volátiles totales	ML <sup>-3</sup>
SVS	Concentración de sólidos volátiles en suspensión (SSV)	ML <sup>-3</sup>
t	Tiempo	t
TIR	Tasa interna de retorno (%)	
TPAD	Temperature-phased anaerobic digestion	
TRH	Tiempo de retención hidráulica	t
TRC	Tiempo de retención hidráulica crítico	t
TRS	Tiempo de retención de sólidos (= celular)	t
TwPhAD	Two phases anaerobic digestion	
UAF	Upflow anaerobic filter	
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket	
UFR	Upflow reactor	
UV	luz ultravioleta	
V	Volumen	L <sup>3</sup>
VAN	Valor actualizado neto	
VCO	Velocidad de carga orgánica	ML <sup>-3</sup> t <sup>-1</sup>
v <sub>x</sub>	Velocidad lineal del fluido	Lt <sup>-1</sup>
x	Distancia	L
X	Concentración de microorganismos	ML <sup>-3</sup>
X <sub>0</sub>	Concentración inicial de microorganismos	ML <sup>-3</sup>
X <sub>v</sub>	Concentración de microorganismos viables	ML <sup>-3</sup>
Y <sub>CH4/S</sub>	Coefficiente de rendimiento metano-sustrato	L <sup>3</sup> M <sup>-1</sup>
Y <sub>p/S</sub>	Coefficiente de rendimiento producto-sustrato	
Y <sub>ps/S</sub>	Factor estequiométrico de consumo de sustrato para generación de productos simples	
Y' <sub>X/S</sub>	Factor estequiométrico de consumo de sustrato para síntesis de biomasa	
Y <sub>X/S</sub>	Coefficiente de rendimiento biomasa-sustrato	

### Funciones matemáticas

cosh	Coseno hiperbólico
senh	Seno hiperbólico
tgh	Tangente hiperbólica

## Letras Griegas

$\alpha$	Coeficiente de la ecuación de Luedeking-Piret	
$\alpha_{\text{CH}_4}$	Producción acumulada específica por unidad de volumen de reactor	$t^{-1}$
$\beta$	Coeficiente de la ecuación de Luedeking-Piret	$t^{-1}$
$\gamma_{\text{CH}_4}$	Velocidad específica de producción diaria de metano	$t^{-1}$
$\Delta$	Incremento	
$\eta$	Factor de eficacia	
$\Theta$	Tiempo de retención	$t$
$\Theta_{\text{min}}$	Tiempo mínimo de retención	$t$
$\Theta_{\text{opt}}$	Tiempo de retención para máxima velocidad	$t$
$\mu$	Velocidad de crecimiento específico de los microorganismos	$t^{-1}$
$\mu_{\text{max}}$	Velocidad máxima de crecimiento específico de los microorganismos	$t^{-1}$

EDITORES CIENTÍFICOS

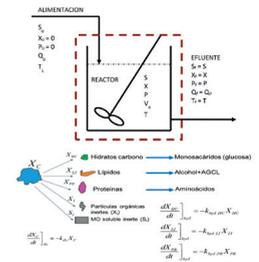
Joaquín Moreno Casco, Universidad de Almería

Raul Moral Herrero, Universidad Miguel Hernández de Elche

José Luis García Morales, Universidad de Cádiz

José Antonio Pascual Valero, C. Superior Investigaciones Científicas, CEBAS-CSIC

María Pilar Bernal Calderón, C. Superior Investigaciones Científicas, CEBAS-CSIC



Desde la Red Española de Compostaje se observa con interés el creciente acercamiento de la sociedad a la gestión sostenible de los residuos orgánicos, así como a la aparición y paulatina implantación de tecnologías que permiten transformar los residuos en recursos, con la obtención de valor añadido a nivel energético, fertilizante, medioambiental.

Por ello, hemos desarrollado un proyecto editorial denominado **DE RESIDUO A RECURSO, EL CAMINO HACIA LA SOSTENIBILIDAD** que desde la Ciencia y aprovechando nuestra formación didáctica y de divulgación integra todo el conocimiento científico-técnico necesario para poder comprender y participar a nivel experto de la gestión de los residuos, a través del conocimiento de su naturaleza, sus potenciales alternativas de tratamiento así como ejemplos avanzados de gestión sostenible.

El presente volumen es la continuación natural del libro de la misma colección dedicado a los aspectos bioquímicos y microbiológicos del proceso de digestión anaerobia. En él se abordan los aspectos tecnológicos de los reactores en los que la producción de biogás tiene lugar. Después de un capítulo inicial sobre la evolución de la implantación de la digestión anaerobia se dedican dos capítulos a conceptos básicos y aplicados de bioreactores. La aplicación de las bases teóricas se abordan con un enfoque diferenciado por tipología de materia prima a tratar: deyecciones ganaderas, fracción orgánica de residuos municipales, lodos residuales de plantas depuradoras, cultivos energéticos, mezclas de los sustratos anteriores con residuos orgánicos industriales (codigestión) y aguas residuales, para las cuales la digestión anaerobia presenta ventajas ambientales, energéticas y económicas respecto a los sistemas aerobios convencionales para una gran variedad de efluentes industriales.

Asimismo se abordan aspectos de automatización y control de las instalaciones, y de transformación de biogás para adecuarlo a su aprovechamiento energético (cogeneración, automoción o inyección a redes de gas natural), así como los sistemas usuales de pretratamiento de los sustratos, para mejorar el perfil del proceso y aumentar la productividad energética. En algunos capítulos se aborda la evaluación económica de los proyectos o los sistemas de transformación de los efluentes (digestato) para mejorar su gestión y aprovechamiento.

El libro presenta un enfoque técnico y didáctico y se considera que puede ser un complemento bibliográfico básico para estudiantes de cursos de ingeniería ambiental de carreras científicas y técnicas, aparte de un manual para ingenieros de proyectos y operadores de plantas de biogás.