



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**  
**PLAN DE ESTUDIOS DE LA LICENCIATURA EN**  
**INGENIERÍA QUÍMICA**



<b>PROGRAMA DE LA ASIGNATURA DE:</b>				
<b>DISEÑO DE BIORREACTORES</b>				
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA</b>				
<b>MODALIDAD:</b>		Curso		
<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b>		Teórico-Práctica		
<b>SEMESTRE EN QUE SE IMPARTE:</b>		Octavo o Noveno		
<b>CARÁCTER DE LA ASIGNATURA:</b>		Optativa del Paquete terminal		
<b>NÚMERO DE CRÉDITOS:</b>		6		
<b>HORAS A LA SEMANA: 4</b>	<b>Teóricas: 2</b>	<b>Prácticas: 2</b>	<b>Semanas de clase: 16</b>	<b>TOTAL DE HORAS: 64</b>
<b>SERIACIÓN:</b> (X) SI ( ) NO OBLIGATORIA (X) INDICATIVA ( )				
<b>SERIACIÓN ANTECEDENTE:</b> Ninguna				
<b>SERIACIÓN SUBSECUENTE:</b> Seriación por bloques. Haber aprobado por lo menos el 80% de los créditos de los 6 primeros semestres.				

**OBJETIVO GENERAL:**

- Plantear las ecuaciones de diseño de biorreactores ideales (intermitente, CSTR y PFR) y heterogéneos (Sólido, Líquido, Gas y Biopelícula) para reacciones enzimáticas y microbianas, con el propósito de encontrar la conversión y el rendimiento en estado estable, así como la dinámica y los cambios de concentración en función de la posición.

**OBJETIVOS PARTICULARES**

- Formular modelos matemáticos de la cinética enzimática y microbiana para describir las velocidades de conversión de sustratos a productos (biomasa).
- Calcular parámetros de modelos cinéticos de procesos enzimáticos y microbianos a partir de resultados experimentales.
- Comprender la relación de los modelos matemáticos con las aplicaciones industriales y de análisis y remediación del medio ambiente.
- Determinar relaciones geométricas, números adimensionales de momentum, calor, masa y biorreacción para encontrar correlaciones adimensionales que permitan escalar un biorreactor.
- Analizar las operaciones de separación necesarias para la concentración o purificación de un bioproducto.

<b>ÍNDICE TEMÁTICO</b>			
<b>UNIDAD</b>	<b>TEMAS</b>	<b>Horas teóricas</b>	<b>Horas prácticas</b>
1	Cinética enzimática	4	4
2	Cinética microbiana	4	4
3	Diseño de Biorreactores homogéneos y heterogéneos	8	8
4	Escalamiento	8	8
5	Descripción de Bioprocesos industriales	8	8
	<b>TOTAL DE HORAS TEÓRICAS</b>	32	
	<b>TOTAL DE HORAS PRÁCTICAS</b>		32
	<b>TOTAL DE HORAS</b>	64	

---

## **CONTENIDO TEMÁTICO**

### **1. Cinética enzimática**

- 1.1 Reacciones enzimáticas. Importancia y mecanismo
- 1.2 Modelo de Michaelis-Menten
- 1.3 Procesos de inhibición
- 1.4 Inhibición por sustrato. Proceso y modelos matemáticos que la describen
- 1.5 Inhibición por producto. Proceso y modelos matemáticos que la describen
- 1.6 Enzimas alostéricas

### **2. Cinética microbiana**

- 2.1 Curva de crecimiento
- 2.2 Estequiometría
- 2.3 Modelo de Contois-Monod-Tessier
- 2.4 Modelo de Monod-Logístico
- 2.5 Modelo de Contois-Tessier
- 2.6 Modelo de Piret
- 2.7 Inhibición por sustrato
- 2.8 Inhibición por producto
- 2.9 Reacciones con múltiples sustratos

### **3. Diseño de biorreactores homogéneos y heterogéneos**

- 3.1 Biorreactores homogéneos (Intermitente, CSTR y PFR)
- 3.2 Biorreactores heterogéneos (Sólido, Líquido, Gas y Biopelícula)

### **4. Escalamiento**

- 4.1 Tipo de propela
- 4.2 Cálculo de número de potencia
- 4.3 Cálculos de: diámetro de propela del tanque, altura, potencia
- 4.4 Reología
- 4.5 Números adimensionales (momentum, masa y calor)
- 4.6 Proceso de escalamiento de reactores biológicos y criterios de proporciones

## **5. Descripción de Bioprocesos industriales**

- 5.1 Fermentaciones alcohólicas
- 5.2 Fermentaciones de ácidos orgánicos
- 5.3 Biosíntesis de principios activos
- 5.4 Depuración de aguas residuales
- 5.5 Biocombustibles
- 5.6 Biopolímeros y su producción
- 5.7 Separaciones producto-microorganismos

## **ACTIVIDADES PRÁCTICAS:**

La parte práctica de la asignatura corresponde a la resolución de problemas que se relacionen con las unidades temáticas descritas. Estas actividades deberán reflejar el número de horas prácticas señaladas en este programa y deben ser consideradas en la evaluación final de la asignatura.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

### **BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

Herbert M. Sauro. (2011). *Enzyme kinetics for systems biology*. University of Washington. Ambrosius Publishing.

Fogler, H. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. México. Pearson, Prentice Hall.

Jens Nielsen, John Villadsen, Gunnar Lidén (2003). *Biorreaction Engineering Principles*. Kluwer Academic/ Plenum Publishers.

I. J. Dunn, E. Heinzle, J. Ingham, J. E. Pfenosil (2003) *Biological Reaction Engineering. Dynamic Modelling Fundamentals with Simulation Examples*. WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA

Douglas S. Clark, Harvey W. Blanch (1997). *Biochemical Engineering*, Second Edition. University of California at Berkeley, Berkeley California.

### **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

Paz Astudillo, Isabel Cristina. (2010). Tesis Doctoral: *Diseño Integral de Biorreactores Continuos de Tanque Agitado Aplicado a Procesos de Fermentación*. Universidad de Colombia, Sede Manizales.

Leonor Carrillo. (2003). *Vida y muerte de los microorganismos*. Microbiología Agrícola.

Octave Levenspiel (2002). *Omnilibro de los reactores químicos*. Oregon State University. Editorial Reverte.

## CIBERGRAFÍA

N. Echeverry, O. Quintero, M. Ramírez y H. Álvarez. *Control de un Biorreactor para Fermentación Alcohólica en Continuo*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Facultad de Minas carrera 80 barrio Robledo. Recuperado el 9 de junio de 2016 en: [http://ebanov.inaut.unsj.edu.ar/publicaciones/1699\\_04.pdf](http://ebanov.inaut.unsj.edu.ar/publicaciones/1699_04.pdf)

Yan Lin, Wei Zhang, Chunjie Li, Kei Sakakibara, Shuzo Tanaka Y Hainan Kong. (2012). *Factors affecting ethanol fermentation using Saccharomyces Cerevisiae*. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University. Recuperado el 6 de junio de 2016 en: [https://www.researchgate.net/publication/233755737\\_Factors\\_affecting\\_ethanol\\_fermentation\\_using\\_Saccharomyces\\_cerevisiae\\_BY4742](https://www.researchgate.net/publication/233755737_Factors_affecting_ethanol_fermentation_using_Saccharomyces_cerevisiae_BY4742)

Litsanov, B., A. Kabus, et al. (2012). Efficient Aerobic Succinate Production from Glucose in Minimal Medium with *Corynebacterium Glutamicum*. *Microbial Biotechnology* 5, no. 1: 116–28.

Tsumi, S., H. Taizo, et al. (2008). Non-fermentative Pathways for Synthesis of Branched-chain Higher Alcohols as Biofuels. *Nature* 451: 86–9.

Dellomonaco, C., J. M. Clomburg, et al. (2011). Engineered Reversal of the  $\beta$ -oxidation Cycle for the Synthesis of Fuels and Chemicals. *Nature* 476, no. 7360: 355–9.

Steen, E. J., Y. Kang, et al. (2012). Microbial Production of Fatty-acid-derived Fuels and Chemicals from Plant Biomass. *Nature* 463: 559–62.

## SUGERENCIAS DIDÁCTICAS RECOMENDADAS PARA IMPARTIR LA ASIGNATURA

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS	UTILIZACIÓN EN EL CURSO
Exposición oral	X
Exposición audiovisual	X
Actividades prácticas dentro de clase	X
Ejercicios fuera del aula	X
Seminarios	X
Lecturas obligatorias	
Trabajo de investigación	X
Taller de resolución de problemas asistidas por el profesor	X
Prácticas de taller	X
Otras	

## MECANISMOS DE EVALUACIÓN

---

<b>ELEMENTOS UTILIZADOS PARA EVALUAR EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE</b>	<b>UTILIZACIÓN EN EL CURSO</b>
Exámenes parciales	X
Examen final	X
Trabajos y tareas fuera del aula	X
Taller de resolución de problemas asistidas por el profesor	X
Prácticas de taller	X
Exposición de seminarios por alumnos	X
Participación en clase	X
Asistencia	

<b>PERFIL PROFESIOGRÁFICO REQUERIDO PARA IMPARTIR LA ASIGNATURA</b>			
<b>LICENCIATURA</b>	<b>POSGRADO</b>	<b>ÁREA INDISPENSABLE</b>	<b>ÁREA DESEABLE</b>
Ingeniería Química Ingeniería Bioquímica	Ingeniería Química, Ingeniería Ambiental o Ingeniería Bioquímica	Ingeniería de procesos, Diseño de Biorreactores	Diseño de Biorreactores
Con experiencia docente			