

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

COORDINACIÓN GENERAL DE FORMACIÓN BÁSICA  
COORDINACIÓN GENERAL DE FORMACIÓN PROFESIONAL Y VINCULACIÓN UNIVERSITARIA  
PROGRAMA DE UNIDAD DE APRENDIZAJE

## I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- 1. Unidad Académica:** Facultad de Ingeniería, Mexicali; Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Ensenada; Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Valle de las Palmas.
- 2. Programa Educativo:** Bioingeniero
- 3. Plan de Estudios:** 2020-1
- 4. Nombre de la Unidad de Aprendizaje:** Diseño y Escalamiento de Procesos Biotecnológicos
- 5. Clave:** 36268
- 6. HC:** 02 **HL:** 00 **HT:** 03 **HPC:** 00 **HCL:** 00 **HE:** 02 **CR:** 07
- 7. Etapa de Formación a la que Pertenece:** Terminal
- 8. Carácter de la Unidad de Aprendizaje:** Optativa
- 9. Requisitos para Cursar la Unidad de Aprendizaje:** Ninguno

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE BAJA CALIFORNIA  
**REGISTRADO**  
22 MAR 2019  
**REGISTRADO**  
COORDINACIÓN GENERAL  
DE FORMACIÓN BÁSICA

Equipo de diseño de PUA

César Gonzalo Iñiguez Monroy  
Tatiana Nenetzen Olivares Bañuelos  
Rubén César Villarreal Sánchez



Firma

Vo.Bo. de subdirector(es) de  
Unidad(es) Académica(s)

Alejandro Mungaray Moctezuma  
Humberto Cervantes De Ávila  
María Cristina Castañón Bautista



Firma



H. CRISTINA CASTAÑÓN B.

Fecha: 21 de enero de 2019

## **II. PROPÓSITO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE**

El propósito de este curso es el de aplicar las ecuaciones relacionadas con los balances de materia y energía, la potencia de un reactor y el esfuerzo al que están sometidas las células en el mismo, la cinética de las reacciones biológicas, el diseño de biorreactores y las relaciones de escalamiento necesarias para diseñar reactores industriales basados en reacciones en el laboratorio y viceversa; coadyuvando al cumplimiento de los requerimientos imprescindibles para incursionar de manera competente en el campo laboral donde se requiera el diseño, operación y/o optimización de éste tipo de procesos. El curso de Diseño y Escalamiento de Procesos Biotecnológicos está ubicado en la etapa terminal del programa de bioingeniero y es de carácter optativo. Contribuye al área de conocimiento de Ingeniería Aplicada y Diseño.

## **III. COMPETENCIA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE**

Diseñar reactores biotecnológicos, mediante las ecuaciones relacionadas con los balances de materia y energía, la potencia de un reactor y el esfuerzo al que están sometidas las células en el mismo, para obtener productos, para llevar a cabo el escalamiento en proyectos de producción bioindustrial, con actitud emprendedora, colaborativa, con atención a las reglas de seguridad e higiene y cuidando el medio ambiente.

## **IV. EVIDENCIA(S) DE DESEMPEÑO**

Desarrollo de un programa simulador de alguno de los aspectos del diseño de reactores biológicos y su escalamiento, el cual debe integrar los siguientes elementos: archivo ejecutable, instructivo, presentación en PowerPoint con el diagrama de flujo y ecuaciones para el diseño del biorreactor.

## V. DESARROLLO POR UNIDADES

### UNIDAD I. Aplicación de Balances de Materia y Energía a Procesos Biotecnológicos

**Competencia:**

Analizar balances de materia y energía, mediante las ecuaciones de balance generalizadas, la estequiometría de crecimiento y formación de producto, para diseñar procesos biotecnológicos eficientes y amigables con el medio ambiente; con actitud ordenada y responsable.

**Contenido:****Duración:** 5 horas

- 1.1 Conservación de materia. Balance general y simplificaciones
- 1.2 Tipos de balances
- 1.3 Estequiometría de crecimiento y formación de producto
- 1.4 Conceptos básicos de energía
- 1.5 Balance general de energía
- 1.6 Balance de energía para un cultivo celular
- 1.7 Balances de materia y energía en estado no estacionario.

## UNIDAD II. Influencia de la viscosidad en los procesos biotecnológicos

### Competencia:

Analizar el comportamiento de la viscosidad de un caldo de fermentación, a través de ecuaciones de tiempo de mezclado, potencia de mezclado, esfuerzo de corte y daño celular, para el diseño de un proceso de mezclado, con responsabilidad al medio ambiente, creatividad y trabajo colaborativo.

### Contenido:

**Duración:** 7 horas

- 2.1 Reología de cultivos
- 2.2 Numero de Reynolds en biorreactores cilíndricos
- 2.3 Modelos de viscosidad en cultivos
- 2.4 Factores que afectan la viscosidad de un caldo de fermentación
- 2.5 Factores que afectan la potencia de mezclado
- 2.6 Ecuaciones para determinar el tiempo y la potencia de mezclado
- 2.7 Efecto del corte y escala de Kolmogorov
- 2.8 Mezclado con burbujas

## UNIDAD III. Reacciones Homogéneas

### Competencia:

Analizar el comportamiento de la velocidad de reacciones enzimáticas y celulares, mediante la aplicación de los modelos cinéticos apropiados al caso, para el diseño de procesos de producción y esterilización, con actitud colaborativa, reflexiva y metódica.

### Contenido:

**Duración:** 7 horas

- 3.1 Constante de equilibrio de reacción
- 3.2 Cinética de Reacción
- 3.3 Efecto de la temperatura
- 3.4 Calculo grafico de la velocidad de reacción
- 3.5 Cinética de orden cero
- 3.6 Cinética de primer orden
- 3.7 Cinética Michaelis-Menten
- 3.8 Determinación de las constantes cinéticas enzimáticas
- 3.9 Cinética de desactivación enzimática
- 3.10 Uso de enzimas en la industria
- 3.11 Ventajas y desventajas de la inmovilización de enzimas
- 3.12 Métodos principales de la inmovilización de enzimas.
- 3.13 Cinética de generación de células con y sin generación de producto
- 3.14 Cinética de muerte celular
- 3.15 Esterilización

## UNIDAD IV. Ingeniería de los Reactores

### Competencia:

Analizar el tipo de régimen, tipo de geometría y la velocidad de la reacción de un reactor, mediante las ecuaciones correspondientes al caso, para el diseño u optimización del reactor biotecnológico, pensamiento crítico, creativo y con respeto al medio ambiente.

### Contenido:

**Duración:** 7 horas

- 4.1 Operación discontinua de un reactor de mezcla perfecta.
- 4.2 Reacción enzimática en régimen discontinuo.
- 4.3 Cultivo celular en régimen discontinuo.
- 4.4 Operación semicontinua.
- 4.5 Cultivo celular en régimen semicontinuo.
- 4.6 Régimen continuo
- 4.7 Configuraciones de reactor en régimen continuo
- 4.8 Reacción enzimática en continuo
- 4.9 Cultivo celular en continuo
- 4.10 Reactor continuo de flujo pistón.
- 4.11 Calculo de parámetros cinéticos en un quimiostato
- 4.12 Clasificación y tipo de biorreactores.
- 4.13 Monitoreo de bioprocesos.

## UNIDAD V. Optimización y Escalamiento de Bioprocesos

### Competencia:

Aplicar los criterios de escalamiento ascendente, descendente y transferencia de oxígeno, mediante ecuaciones de acuerdo al caso y estrategias de bioseparación, para la optimización, escalamiento y/o purificación de productos, con pensamiento crítico, creativo y con respeto al medio ambiente.

### Contenido:

**Duración:** 6 horas

- 5.1 Demanda y transferencia de oxígeno
- 5.2 Determinación de los coeficientes de transferencia de oxígeno.
- 5.3 Escalamiento ascendente
- 5.4 Escalamiento descendente
- 5.5 Estrategias de bioseparación
  - 5.5.1 Separación de células y fluido extracelular
  - 5.5.2 Ruptura celular y separación de extracto celular.
  - 5.5.3 Operaciones de recuperación, aislamiento y purificación.
- 5.6 Costos de operación

## VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE TALLER

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
<b>UNIDAD I</b>				
1	<p>Aplicar las diferentes unidades de concentración físicas y químicas, así como los diagramas de flujo, mediante el uso de la ecuación general de balance de masa en estado estacionario y no estacionario, para la solución de balances de masa de procesos biotecnológicos, de manera lógica, organizada y objetiva.</p>	<p>El docente explica el tema de balances de masa a través de la solución de un ejercicio en el pizarrón. Proporciona un ejercicio al grupo.</p> <p>El estudiante resuelve un ejercicio elaborando un diagrama de flujo que muestre las entradas y las salidas de materia en un proceso; especificando las cantidades, flujos y/o concentraciones de los componentes involucrados.</p>	<p>Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo y proyector de diapositivas.</p>	1 horas
2		<p>El docente explica el tema de la conservación de la materia en los procesos y su relación con las unidades de aprendizaje concentración y las reacciones biológicas a través de la solución de ejercicios en el pizarrón. Proporciona ejercicios al grupo:</p> <p>El estudiante resuelve un ejercicio aplicando el principio de conservación de la materia en un proceso biotecnológico y calculando las cantidades de cada uno de los componentes de cada entrada y salida tomando en cuenta las fórmulas para el cálculo de la concentración en unidades</p>	<p>Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.</p>	2 horas

		físicas y químicas.		
3		El estudiante resuelve un ejercicio aplicando el principio de conservación de la materia en una reacción biológica.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas
4		Elabora diagramas de flujo que identifique el flujo volumétrico, flujo másico y concentración de un proceso no estacionario.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	1 horas
5		Soluciona ejercicios de balance de masa en estado no estacionario, que incluyan el fenómeno de dilución de una solución en un reactor.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas
6		Soluciona ejercicios de balance de masa en estado no estacionario, que incluyan una reacción química.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas
7	Comparar los conceptos calor sensible y de cambio de fase, para entender las características de transferencia de calor de los procesos biotecnológicos, mediante la aplicación de las fórmulas correspondientes, de forma proactiva y tolerante al trabajo en equipo.	El docente explica el tema de calor sensible y calor latente o de cambio de fase, a través de la solución de un ejercicio en el pizarrón. Proporciona un ejercicio al grupo.  El estudiante resuelve un ejercicio aplicando las fórmulas para el cálculo del calor sensible y de cambio de fase, y con datos de capacidades caloríficas y entalpías de cambio de fase tomados de tablas.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	1 horas
8	Aplicar las diferentes unidades de concentración físicas y químicas,	El docente explica el tema de balances de energía, a través de la solución de un ejercicio en el pizarrón. Proporciona ejercicios al grupo:	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas

	así como los diagramas de flujo, mediante el uso de la ecuación general de balance de energía en estado estacionario y no estacionario, para la solución de balances de energía de procesos biotecnológicos, de manera lógica, organizada y objetiva.	El estudiante resuelve un ejercicio de balance de energía en estado estacionario, que involucren el cálculo de la energía necesaria para el calentamiento de un medio de cultivo.		
9		Soluciona ejercicios de balance de energía en estado estacionario, que involucren el cálculo de la energía necesaria para el enfriamiento de un caldo de fermentación.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas
10		Soluciona ejercicios de balance de energía en estado estacionario, que incluyan el calor generado por reacciones de fermentación.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas
11		Soluciona ejercicios de balance de energía en estado no estacionario.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora y proyector de diapositivas.	2 horas
<b>UNIDAD II</b>				
12		El docente explica el tema de movimiento de fluidos en un reactor, a través de la solución de un ejercicio en el pizarrón. Proporciona ejercicios al grupo:  El estudiante soluciona un ejercicio para el cálculo de tiempo de mezcla en un reactor, con ecuación de tiempo de mezclado.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos de mezclado.	1 horas
13	Aplicar las ecuaciones de tiempo de mezclado, potencia y daño celular, por medio del análisis de la relación entre la viscosidad y la	Elabora una tabla comparativa de los tipos de ecuaciones que deben ser utilizadas para el cálculo de la potencia de mezclado de un	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos de mezclado.	1 horas

	velocidad de mezclado, para obtener la potencia de mezclado y daño celular, con pensamiento analítico y orden.	reactor, de acuerdo al régimen de flujo y la geometría del rodete.		
14		Soluciona un ejercicio para el cálculo de la potencia de mezclado aplicando la fórmula según el régimen del flujo.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos de mezclado.	2 horas
15		Soluciona un ejercicio para el cálculo de la velocidad máxima de mezclado, para evitar daño celular debido al esfuerzo de corte, con la escala Kolmogorov.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos de mezclado.	2 horas
<b>UNIDAD III</b>				
16	Calcular el equilibrio para una reacción enzimática, por medio de las ecuaciones de equilibrio termodinámico, con el fin de interpretar la reacción enzimática en función de la temperatura, con actitud ordenada y responsable.	El docente explica el tema de equilibrio termodinámico mediante la solución de un ejemplo. Proporciona ejemplo.  El estudiante calcula e interpreta la constante de equilibrio para una reacción enzimática, en función de la temperatura de reacción, con la ecuación de equilibrio termodinámico.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos enzimáticos.	1 horas
17		El docente explica el tema de equilibrio velocidad de reacción mediante la solución de un ejemplo. Proporciona ejemplos:  El estudiante calcula e interpreta los valores del orden de reacción y la constante de velocidad, a partir de datos de tiempo vs concentración; para un proceso celular de orden cero.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos enzimáticos.	1 horas
18		Calcula e interpreta los valores del orden de reacción y la constante	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador	1 horas

	Determinar la relación entre velocidad de reacción, concentración de sustrato y tiempo, mediante los modelos cinéticos adecuados, para modelar un proceso celular o enzimático, con orden, responsable con el medio ambiente y analítico.	de velocidad, a partir de datos de tiempo vs concentración; para un proceso celular de primer orden.	de procesos enzimáticos.	
19		Calcula e interpreta los valores de la velocidad máxima y la constante de Michaelis, a partir de datos de velocidad inicial vs concentración; para un proceso enzimático que sigue el modelo de Michaelis.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos enzimáticos.	2 horas
20		Soluciona los ejercicios que involucren la cinética de desactivación enzimática y el cálculo de la vida media de una enzima, a partir de datos de velocidad inicial y/o actividad enzimática en función del tiempo.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos enzimáticos.	2 horas
21		Calcula e interpreta los valores de la velocidad específica de crecimiento y el tiempo de duplicación para un cultivo celular, a partir de datos de concentración de células en función del tiempo.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos enzimáticos.	1 horas
22		Calcula e interpreta los valores de energía de activación, constante específica y tiempo; para un proceso de muerte celular por esterilización térmica, mediante la ecuación de muerte celular.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de procesos enzimáticos.	2 horas
<b>UNIDAD IV</b>				
23	Obtener el comportamiento de la concentración de sustrato en función del tiempo en un reactor, mediante las ecuaciones de diseño de reactores de acuerdo a la geometría y el régimen de reacción, para el modelado de	El docente explica el tema de diseño de reactores mediante la solución de un ejemplo. Proporciona ejemplos:  El estudiante aplica las ecuaciones para el cálculo del	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, proyector de diapositivas.	3 horas

	reactores biológicos, con actitud ordenada y responsable.	tiempo de cultivo requerido en la producción de una cantidad específica de biomasa y producto; así como alcanzar una conversión de sustrato específica, en un proceso de fermentación.		
24		Aplica las ecuaciones de cinética enzimática y celular, así como los conceptos de costo de operación, costo de recuperación y precio de mercado; para el cálculo del flujo de efectivo en función del porcentaje de conversión de sustrato.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, proyector de diapositivas.	3 horas
<b>UNIDAD V</b>				
25	Determinar el cambio en las características entre reactores de laboratorio e industriales, mediante la aplicación de los criterios de escalamiento ascendente y descendente, para diseñar u optimizar reactores, con pensamiento analítico, creatividad y orden.	El docente explica el tema de escalamiento de reactores mediante la solución de ejemplos. Proporciona ejemplos:  El estudiante aplica las ecuaciones de transferencia de masa para calcular la capacidad de absorción de oxígeno de un medio de cultivo, y de la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en una fermentación.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, proyector de diapositivas.	2 horas
26		Aplica los principios de escalamiento de reactores para calcular el cambio en la entrada de energía, la velocidad de rotación, el diámetro del agitador, la velocidad de bombeo, la velocidad en la punta del agitador y el número de Reynolds; cuando se presenta un cambio de escala.	Pizarrón, marcadores, cuaderno de trabajo, calculadora, simulador de escalamiento.	5 horas

## VII. MÉTODO DE TRABAJO

**Encuadre:** El docente deberá entregar contra firma de recibido, la forma de trabajo, criterios de evaluación, calidad de los trabajos académicos, derechos y obligaciones docente-alumno.

### **Estrategia de enseñanza (docente)**

Desarrollar estrategias didácticas para favorecer la integración y participación del alumno al curso.

Presentación, resolución y explicación de casos de estudio de cada unidad.

Utilizar diversos recursos audiovisuales (videos, simulaciones, presentación de diapositivas) para optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje.

Fomentar la participación activa del alumno mediante trabajo en equipo, mediante la solución en equipo de casos de estudio y diagramas de flujo, que le permitan simular un proceso.

Favorecer el aprendizaje por comprensión, basado en un proceso reflexivo y de retroalimentación.

### **Estrategia de aprendizaje (alumno)**

Investigación extra clase.

Solución de casos de estudio (grupales e individuales).

Participación activa en la elaboración en equipo de un diagrama de flujo aplicado a la solución de un caso de estudio.

Creación de un simulador para un proceso biotecnológico específico.

## VIII. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

La evaluación será llevada a cabo de forma permanente durante el desarrollo de la unidad de aprendizaje de la siguiente manera:

### Criterios de acreditación

- Para tener derecho a examen ordinario y extraordinario, el estudiante debe cumplir los porcentajes de asistencia que establece el Estatuto Escolar vigente.
- Calificación en escala del 0 al 100, con un mínimo aprobatorio de 60.

### Criterios de evaluación

Los porcentajes que se presentan a continuación son con base a la calificación final.

- Evaluaciones parciales (3).....	40%
- Tareas, análisis y cuestionarios.....	30%
- Evidencia de desempeño.....	30%
Desarrollo de un programa simulador de alguno de los aspectos del diseño de reactores biológicos y su escalamiento, el cual debe integrar los siguientes elementos: archivo ejecutable, instructivo, presentación en PowerPoint con el diagrama de flujo y ecuaciones para el diseño del biorreactor. (el docente revisa que el ejecutable sea funcional)	
<b>Total</b> .....	100%

- 1) Colección de ejercicios resueltos divididos por unidad.
- 2) Colección de análisis y cuestionarios resueltos relacionados con artículos científicos actuales, relacionados con el diseño de reactores biológicos y su escalamiento.

## IX. REFERENCIAS

### Básicas

- Doran, P. (2013). *Bioprocess Engineering Principles* (2ª ed.). United Kingdom: Elsevier Science & Technology Books. [clásica]
- Fogler H.S (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering* (5ª ed.). New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Liu, S. (2017). *Bioprocess Engineering: Kinetics, Biosystems, Sustainability, and Reactor Design* (2ª ed.). Cambridge, Reino Unido: Elsevier.
- Shuler, M. and Kargi, F. (2012). *Bioprocess Engineering Basic Concepts* (2ª ed.). New York, Estados Unidos: Pearson Education. [clásica]

### Complementarias

- Eibl, R. (2009). *Cell and tissue reaction engineering. Principles and practice series*. New York, Estados Unidos: Springer. [clásica]
- Kragl, U. and Aivasidis, A. (2005). *Technology transfer in biotechnology from lab to industry to production*. Berlín, Alemania: Springer. [clásica]
- Scheper, T. (2013). *Measurement, Monitoring, Modelling and Control of Bioprocess. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Berlin, Alemania: Springer-Verlag. 132. [clásica]

## X. PERFIL DEL DOCENTE

El docente de esta asignatura debe poseer Licenciatura en Ingeniería biotecnológica, química, bioquímica o áreas afines, con experiencia en procesos biotecnológicos y en docencia a nivel Licenciatura. Además, debe ser una persona responsable, capaz de propiciar la participación activa de los estudiantes, ser tolerante con los estudiantes, ser capaz de incorporar a la comunidad universitaria en actividades tendientes a mejorar la calidad de vida de la sociedad y el medio ambiente, con apego al código de ética universitario.