

Aspectos generales

Título:	Termodinámica de los procesos irreversibles en la biología
Programas de posgrado o planes de estudio en donde se ofertará adicionalmente:	En este año, en ninguna otra Institución.
Área del conocimiento:	Bioquímica, biofísica y biología estructural
Semestre:	2026-1
Modalidad:	Tópico selecto
Horario:	Martes 12 horas a las 4 pm.
No. sesiones:	16
Horas por sesión:	4.0
Total alumnos PDCB:	3
Total alumnos:	6
Videoconferencia:	No
Lugar donde se imparte:	Unidad de Posgrado. Cd. Universitaria. CDMX.
Informes:	fgmosqueira@gmail.com

Métodos de evaluación

MÉTODO	PORCENTAJE	NOTAS
Asistencia y participación	15%	La asistencia y participación en clase del alumno durante el semestre
Exposición de un artículo de investigación que haga uso de los métodos enseñados en el presente curso	85%	Este artículo lo buscará el estudiante durante las últimas semanas del semestre, y el responsable del curso dará su aprobación para que se pueda exponer.

Contribución de este curso/tópico en la formación del alumnado del PDCB:

La presentación clásica de este tema está revestida de un formalismo matemático que hace difícil su acceso a los alumnos de las ciencias biológicas, por lo que el temario abarca la explicación detallada de los conceptos matemáticos que se requieren para comprender y utilizar la termodinámica de los procesos irreversibles en la biología.

Profesor (a) responsable

Nombre:	Mosqueira Pérez Salazar Fernando Guillermo
Teléfono:	5531262566
Email:	fgmosqueira@gmail.com

Profesores (as) participantes

PARTICIPANTE	ENTIDAD O ADSCRIPCIÓN	SESIONES
MOSQUEIRA PÉREZ SALAZAR FERNANDO GUILLERMO Responsable	Facultad de Medicina	1 Introducción y repaso de algunas nociones de la termodinámica del equilibrio 2 Introducción a la termodinámica de los procesos irreversibles 3 Ecuaciones de balance en ausencia de fenómenos hidrodinámicos en sistemas continuos 4 Región lineal de la termodinámica de los procesos irreversibles 5 Región no-lineal de la termodinámica de los procesos irreversibles

Introducción

Los métodos de la termodinámica irreversible en ocasiones se utilizan en las ciencias biológicas. Por lo general los biólogos no tienen una formación suficiente para abordar publicaciones que utilicen tales métodos y pudieran renunciar a leerlas. Este curso se propone servir de primer encuentro con los métodos de la termodinámica de los procesos irreversibles para alumnos con formación en las ciencias biológicas, con el fin de subsanar posibles carencias en tales métodos

teóricos. La aplicación de estos métodos en diversos sistemas biológicos se hará haciendo búsquedas bibliográficas realizadas por el mismo alumno, a fin de encontrar artículos de investigación -del área del alumno de preferencia- que utilicen la formulación de la termodinámica irreversible (véase Evaluación), o también utilizando libros especializados en el tema.

Temario

1 Introducción y repaso de algunas nociones de la termodinámica del equilibrio

- 1.0 Perspectiva y objetivos del curso.
- 1.1 Definiciones: Sistema, fronteras y entornos
- 1.2 Macrovariables. Potencial termodinámico.
- 1.3 ¿Qué es un estado de equilibrio termodinámico?
- 1.4 ¿Qué es una transformación de un estado inicial de equilibrio termodinámico a un estado final de equilibrio termodinámico?
- 1.5 El tamaño de un sistema y el equilibrio termodinámico. El límite termodinámico.
- 1.6 La hipótesis del equilibrio local.
- 1.7 Procesos cuasi-estáticos y tiempo de relajación. Procesos reales y procesos irreversibles.
[Antecedente matemático: La función exponencial].
- 1.8 Un repaso de la 1ª Ley de la Termodinámica.
- 1.9 Entropía: Procesos reversibles y procesos irreversibles.
- 1.10 Un procesos reversible representado en el espacio de configuraciones termodinámico.
- 1.11 El criterio de la dirección de cambio en nuestro mundo físico: La 2ª Ley de la Termodinámica.
- 1.12 Ecuaciones reversibles e irreversibles.
- 1.13 Tres ejemplos de procesos impulsados por la entropía.

2 Introducción a la termodinámica de los procesos irreversibles

- 2.1 ¿Qué es un sistema fuera del equilibrio termodinámico? Sujeciones externas.
[Antecedente matemático: Coordenadas rectangulares y vectores de posición].
- 2.2 La derivada direccional y el gradiente.
[Antecedentes matemáticos:
 - 1. La derivada y su significado.
 - 2. La derivada parcial y su significado.
 - 3. Ecuaciones paramétricas.
 - 4. Producto escalar entre vectores.
 - 5. Campos escalares y campos vectoriales].
- 2.3 Dos propiedades importantes del gradiente.
- 2.4 ¿Qué es la difusión? ¿Qué es la convección?
- 2.5 El flujo difusional: La 1ª Ley de Fick.
- 2.6 El flujo difusional y el transporte activo.
- 2.7 Otra representación del flujo difusional.
- 2.8 Otras ecuaciones de transporte.
- 2.9 La difusión en la biología.
- 2.10 La difusión en la biotecnología: La capa de difusión de Nernst.
- 2.11 El flujo difusional en un elemento de área con una orientación arbitraria.
- 2.12 La divergencia y la ecuación de balance local.
- 2.13 La 2ª Ley de Fick.
[Antecedente matemático: Expansión de una función en series de potencias].
- 2.14 El estado estacionario y las sujeciones externas. La solución de la ecuación de Fourier en una dimensión.
- 2.15 La 2ª Ley de la Termodinámica y la producción de entropía en los sistemas discontinuos.
[Antecedente matemático: La diferencial de una función de una variable. Su generalización a dos o más variables].
[Antecedentes termodinámicos:
 - 1. El potencial químico.
 - 2. Afinidad.
 - 3. La ecuación de Gibbs.
 - 4. Más definiciones termodinámicas.
 - 5. El balance global de la entropía].
- 2.16 La producción de entropía. Varios ejemplos.
 - A. A partir del flujo de calor entre dos cuerpos aislados térmicamente del entorno.
 - B. A partir del flujo de calor entre dos cuerpos y conectados térmicamente con el entorno.
 - C. A partir de los flujos de calor, de volumen y de soluto entre dos cuerpos aislados térmicamente del entorno.
 - D. En las reacciones químicas.
- 2.17 La producción de entropía y la biología.
- 2.18 Aspectos comunes y diferencias entre el equilibrio termodinámico y el estado estacionario.
- 2.19 Termodinámica generalizada y la hipótesis del equilibrio local.
- 2.20 El dominio de validez de la hipótesis del equilibrio local.

2.21 Otras formulaciones de la termodinámica irreversible.

3 Ecuaciones de balance en ausencia de fenómenos hidrodinámicos en sistemas continuos

3.1 Fuerzas termodinámicas.

3.2 Flujos termodinámicos.

3.3 La divergencia y la ecuación de balance local para sistemas continuos conservativos y no conservativos.

3.4 Los flujos en el estado estacionario.

3.5 La ecuación general de balance.

3.6 La ecuación de balance local a partir de la ecuación de balance global.

3.7 Producción de entropía en sistemas continuos.

[Antecedente matemático: La derivada substancial].

4 Región lineal de la termodinámica de los procesos irreversibles

4.1 ¿Qué es la región lineal de la termodinámica de los procesos irreversibles?

4.2 Producción de entropía en la región lineal de la termodinámica de los procesos irreversibles.

[Antecedente matemático: Expansión de una función de dos o más variables en series de potencias].

4.3 Relaciones y coeficientes fenomenológicos. Relaciones de reciprocidad de Onsager.

4.4 Requerimientos de simetría en el acoplamiento de los procesos irreversibles.

4.5 Estados estacionarios en la región lineal de la termodinámica irreversible.

4.6 El teorema de la producción mínima de entropía como criterio de estabilidad.

4.7 Imposibilidad de un comportamiento coherente en la región lineal de la termodinámica irreversible.

4.8 Grado de acoplamiento de procesos irreversibles y su relación a la eficiencia de conversión de la energía.

5 Región no-lineal de la termodinámica de los procesos irreversibles

5.1 Introducción.

5.2 Criterio de estabilidad en la región no-lineal de la termodinámica irreversible y sus limitaciones.

5.3 La autoorganización de la materia más allá del equilibrio termodinámico.

5.4 Cambios cualitativos de los sistemas conforme se alejan del equilibrio termodinámico.

5.5 Criterio de estabilidad para sistemas con reacción química.

5.6 Estructuras disipativas en los sistemas químicos y las condiciones para su surgimiento. Estructuras disipativas temporales y espaciales.

Las sesiones serán el martes de cada semana, a lo largo del semestre 2026-I.

Bibliografía

1. 'Nonequilibrium Thermodynamics in Biophysics'

A. Katchalsky & P.F. Curran

Harvard University Press (1975).

2. 'Self-Organization in Nonequilibrium Systems'

G. Nicolis & I. Prigogine

John Wiley & Sons (1977).

3. 'Bioenergetics and Linear Nonequilibrium Thermodynamics. The Steady State'

S. Roy Caplan & Alvin Essig

Harvard University Press (1983).

4. 'The Surface Chemistry of Soils'

Garrison Sposito

Clarendon Press Oxford (1984). (Capítulo 3).

5. 'Molecules, Dynamics & Life. An Introduction to Self-Organization of Matter'

A. Babloyantz

John Wiley & Sons (1986).

Observaciones

Deseo agregar una nota que explique la ausencia de referencias recientes. Como se ve, hay referencias a libros publicados de 1975 a 1986, y no hay artículos. Esto se debe a que una parte de la termodinámica irreversible (la llamada 'región lineal') es un área de la ciencia 'terminada'. Los mayores progresos ya se efectuaron y

se encuentran presentados en libros publicados por 1950. (Así como la termodinámica clásica se puede considerar una ciencia 'terminada' desde principios del siglo XX o antes. Lo que se ve después son más bien aplicaciones a diversos tipos de materia). Hay otra región de la termodinámica irreversible (la llamada 'región no-lineal') que esa sí está activa y en continua investigación. Nuestro curso se limitará al uso de la termodinámica irreversible en su región lineal, la termodinámica irreversible que se desarrolló hasta 1950 aproximadamente. Una célula viva y una gran variedad de sistemas biológicos -se puede argumentar con facilidad- trabajan en condiciones que se puede aplicar la termodinámica irreversible lineal, por lo que el estudiante podrá encontrar decenas y decenas de publicaciones que utilizan los métodos teóricos del curso que ahora propongo.

Observaciones de la evaluación:

La parte principal de la evaluación del curso será una exposición de algún artículo de investigación que haga uso de los métodos enseñados en el presente curso, de preferencia en el área de investigación del alumno. Este artículo lo buscará el estudiante durante las últimas semanas del semestre, y el responsable del curso dará su aprobación para que se pueda exponer. Esta parte contará aproximadamente con un 85 % de la calificación. El 15 % restante lo aportará la asistencia y participación en clase del alumno durante el semestre.