



# TEMARIO

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS				
Denominación de la actividad académica (completa): <b>MODELACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD CON ENFOQUE DE SISTEMAS COMPLEJOS.</b>				
<b>Clave:</b> <i>(no llenar)</i>	<b>Semestre:</b> 2025-1	<b>Campo de conocimiento:</b> <i>ecología, biología evolutiva, manejo integral de ecosistemas</i>	<b>Número de Créditos:</b> 8	
<b>Carácter</b> OPTATIVA	<b>Horas</b>		<b>Horas por semana</b>	<b>Horas por semestre</b>
	<b>Teóricas</b> 22	<b>Prácticas</b> 42	12.8	64
<b>Modalidad</b> CURSO-TALLER		<b>Duración del curso</b> Semi-intensivo		
<b>Seriación indicativa u obligatoria antecedente, si es el caso:</b> NO ES OBLIGATORIA ANTECEDENTE				
<b>Seriación indicativa u obligatoria subsecuente, si es el caso:</b> NO ES OBLIGATORIA SUBSECUENTE				
<b>Objetivo general:</b> El estudiante conocerá y practicará con un conjunto de herramientas de modelación y simulación (tanto cualitativa como numérica) que abordan aspectos fundamentales de los sistemas complejos, y aprenderá cómo se vinculan con el tema de la sostenibilidad				
<b>Objetivos específicos: (en su caso)</b> a) ¿Cómo puedo optimizar un problema compuesto por varios procesos que pueden ser antagónicos? b) ¿Cómo puedo saber si la representación de un sistema (i.e. vínculos entre variables) es la adecuada? c) ¿Cómo cambia el sistema a lo largo del tiempo? ¿Qué determina este cambio? ¿Cuál es la importancia relativa de las variables que lo conforman? ¿Cómo responderá el sistema ante perturbaciones?				
<b>Temario</b> <b>Introducción general</b> 1. Modelos de ecuaciones estructurales 2. Modelación multiobjetivo 3. Modelación global 4. Modelación con redes 5. Introducción a la conectividad del paisaje 6. Modelos dinámicos con ecuaciones diferenciales ordinarias			<b>Horas</b>	
			<b>Teóricas</b> 20	<b>Prácticas</b> 44
<b>Unidad 1</b> <b>Modelos de ecuaciones estructurales</b>  1. Relaciones de causalidad múltiple y multilinealidad 1.1. ¿Qué entendemos por la causa de un fenómeno? 1.2. Fenómenos multivariados, causas múltiples y secuencias de causalidad 1.3. Grafos como representaciones de causalidad 1.4. Modelos estadísticos como representaciones de la causalidad 1.5. Modelos de ecuaciones estructurales (SEMs)  2. SEM por partes usando piecewiseSEM 2.1. SEMs empleando modelos lineales			<b>4</b>	<b>8.8</b>



# TEMARIO

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

<ul style="list-style-type: none"> <li>2.2. Representación gráfica y reporte de resultados</li> <li>2.3. SEMs multinivel empleando modelos mixtos</li> <li>2.4. Comparación de modelos alternativos empleando criterios de información</li>   <li>3. SEM global por matrices de varianza – covarianza usando lavaan.             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. Matriz de varianza covarianza y el SEM</li> <li>3.2. Representación gráfica y reporte de resultados</li> <li>3.3. Variables latentes</li> <li>3.4. Modelos cíclicos</li> </ul> </li>   <li>4. Temas adicionales             <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. Otros programas y librerías para SEM</li> <li>4.2. Modelos por grupo e inclusión de variables categóricas</li> </ul> </li>   <li>5. Resumen de mensajes principales y conclusiones</li> </ul>		
<p><b>Unidad 2</b> <b>Modelación multiobjetivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción.</li>   <li>2. Generalidades de álgebra lineal.             <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Sistemas de ecuaciones lineales (1).</li> <li>2.2. Concepto de linealidad</li> <li>2.3. Sistemas de ecuaciones lineales (2).</li> <li>2.4. Notación matricial de un sistema de ecuaciones lineales.</li> <li>2.5. Cómo calcular las soluciones de un sistema de ecuaciones lineales.</li> <li>2.6. Excepciones para considerar</li> <li>2.7. Referencias</li> </ul> </li>   <li>3. Introducción a los modelos de equilibrio parcial (MEP).             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. Consideraciones generales</li> <li>3.2. Aspectos básicos de los modelos de equilibrio parcial</li> <li>3.3. Ejemplo simple de MEP, con representación gráfica</li> <li>3.4. La función objetivo</li> <li>3.5. Las funciones de restricción</li> <li>3.6. Representación y análisis gráfico</li> <li>3.7. Análisis de modelos de equilibrio parcial con software</li> <li>3.8. Análisis de sensibilidad</li> <li>3.9. El “precio sombra”</li> <li>3.10. Análisis de sensibilidad</li> <li>3.11. Sensibilidad de la función objetivo</li> <li>3.12. Sensibilidad de las funciones de restricción</li> <li>3.13. Ejercicio 1 MEP</li> <li>3.14. Cambio de la función objetivo</li> <li>3.15. Primer cambio de objetivo.</li> <li>3.16. Segundo cambio de objetivo</li> <li>3.17. Ejercicio 2 MEP</li> <li>3.18. Referencias</li> </ul> </li>   <li>4. Ejemplo desglosado de MEP.             <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. Ejemplo 2: la “granja maya” (capítulo 2 de Hazil y Norton, 1986)</li> <li>4.2. Implementación</li> <li>4.3. Ejercicio</li> <li>4.4. Referencias</li> </ul> </li> </ul>	<b>4</b>	<b>8.8</b>



# TEMARIO

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

<p>5. Wilfrido Pareto y la optimización Multiobjetivo .</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Soluciones de compromiso, disyuntivas o trade-offs</li> <li>5.3. Dominancia</li> </ul> <p>6. ¿Pareto?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1. Conjunto de soluciones no dominadas de Pareto</li> <li>6.2. Técnicas para la MMO</li> <li>6.3. Algoritmos genéticos, o la naturaleza como inspiración</li> <li>6.4. Referencias</li> </ul> <p>7. Ejemplo 1 traducido a MMO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>7.1. Ejemplo 1 recalculado con MMO</li> <li>7.2. Análisis MMO</li> <li>7.3. Resultados del MMO: La frontera de Pareto</li> <li>7.4. Valores de las variables y de las funciones</li> <li>7.5. Ejercicio</li> </ul> <p>8. Ejemplo 2 MMO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>8.1. Ejemplo 2, la granja maya con MEP.</li> <li>8.2. Reconfiguración del problema de la “granja maya” en términos de MMO.</li> <li>8.3. Ejercicio</li> </ul> <p>9. Ejemplo 3 MMO, el sistema del Marqués de Comillas, Chiapas, México.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>9.1. Generalidades del sistema.</li> <li>9.2. ¿Cómo construyo el modelo? Los criterios principales para definir el sistema de ecuaciones.</li> <li>9.3. Lo que quiero, lo que necesito y lo que puedo, limitaciones de los sistemas de estudio</li> <li>9.4. Cálculo de los coeficientes del sistema de ecuaciones</li> <li>9.5. Implementación y análisis del modelo.</li> </ul> <p>10. Consideraciones finales.</p>		
<p><b>Unidad 3</b> <b>Modelación global</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Mediciones y modelos globales: pasado, presente y futuro. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. El origen de las mediciones climáticas globales</li> <li>b. Estado actual de las mediciones climáticas y disponibilidad de datos</li> <li>c. Los primeros climáticos modelos globales</li> <li>d. Evolución hasta los ESM (Earth System Models)</li> <li>e. Viendo al futuro: proyecciones, escenarios y RCPs.</li> </ul> </li> <li>2. El formato NETCDF <ul style="list-style-type: none"> <li>a. La necesidad de un formato común.</li> <li>b. Estructura básica de un archivo NETCDF</li> <li>c. Ejemplos de bases de datos disponibles en formato NETCDF</li> </ul> </li> <li>3. Procesamiento de datos globales <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Medias anuales globales y nacionales (series de tiempo).</li> <li>b. Cálculo de medias en “rejilla”.</li> <li>c. Cálculo de tendencias lineales en “rejilla”.</li> <li>d. Ejemplos diversos de la literatura</li> </ul> </li> <li>4. Interpretación de gráficas clave <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ejemplos de literatura científica</li> <li>b. Ejemplos del IPCC</li> </ul> </li> </ul>	<b>4</b>	<b>8.8</b>



5. Conclusiones		
<b>Unidad 4</b> <b>Modelación con redes</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Generalidades de la modelación con redes.</li> <li>2. Tipos básicos de redes</li> <li>3. Principales métricas de redes.</li> <li>4. Implementación básica de redes en la plataforma R</li> <li>5. Ejemplos de modelación de sistemas con redes</li> </ol>	<b>4</b>	<b>8.8</b>
<b>Unidad 5</b> <b>Modelos dinámicos con ecuaciones diferenciales ordinarias</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Introducción           <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.1. ¿Qué son los sistemas/modelos dinámicos?</li> <li>1.1.2. ¿Qué procesos biológicos se pueden estudiar como un sistema dinámico?</li> <li>1.1.3. ¿Qué propiedades (biológicas) se pueden estudiar por medio de la dinámica del sistema?</li> <li>1.1.4. Auto organización- propiedades emergentes, aparición de patrones, modularidad, no linealidad... siguiendo un poco a John Vandermeer &amp; Ivette Perfecto</li> <li>1.1.5. ¿Por qué es importante el uso de modelos dinámicos para el estudio de sistemas no lineales? ¿Qué sistemas biológicos presentan este tipo de propiedades, en especial dinámicas no lineales?</li> <li>1.1.6. ¿Qué formalismos existen para estudiar la dinámica de la red?</li> <li>1.1.7. Modelos discretos-continuos, deterministas-estocásticos...</li> <li>1.1.8. Introducción al módulo 2 del curso.</li> </ol> </li> <li>2. Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (EDO).           <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.1. ¿Qué son las EDOs?               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.1.1. Definición intuitiva</li> <li>2.1.1.2. Definición geométrica</li> <li>2.1.1.3. Definición cálculo a partir de derivadas hasta llegar a la fórmula general de las derivadas</li> </ol> </li> <li>2.1.2. ¿Qué información nos dicen las derivadas? Con ejemplos de especial relevancia para la biología y el tópico que se vaya a abarcar en el curso (¿Dinámica poblacional? ¿Escenarios ecológicos?)</li> <li>2.1.3. ¿Cómo se resuelven las EDOs?               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.3.1. Soluciones analíticas</li> <li>2.1.3.2. Soluciones numéricas (Euler en R, a mano y por función predefinida usando odesolve)</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>3. Construcción de un modelo de EDOs           <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1.1. Elementos básicos de un modelo (variables, parámetros, ecuaciones...)</li> <li>3.1.2. Definición del problema (ver si se define un tópico general para el curso)</li> <li>3.1.3. Visualización del modelo</li> <li>3.1.4. Definir los elementos básicos:               <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1.4.1. variables</li> <li>3.1.4.2. Parámetros y su estimación</li> <li>3.1.4.3. Ecuaciones</li> </ol> </li> <li>3.1.5. Suposiciones del modelo</li> <li>3.1.6. Análisis del modelo</li> <li>3.1.7. Análisis numérico</li> </ol> </li> </ol>	<b>4</b>	<b>8.8</b>





# TEMARIO

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

3.1.8. Otro tipo de análisis (e.g., curvas nulas, linealización, valore y vectores propios, bifurcaciones, etc. Esto se tiene que ajustar según el tópico elegido para el curso)		
3.1.9. Interpretación de los resultados con regreso a la pregunta original		
4. Interpretación de un artículo científico ó estudiar un ejemplo de un modelo de red alimenticia generalizado en un espacio explicito		
5. Conclusiones/Discusión, posibles cursos lecturas posteriores		
<b>Total de horas teóricas</b>	<b>20</b>	
<b>Total de horas prácticas</b>		<b>44</b>
<b>Suma total de horas</b> (debe coincidir con el total de horas al semestre)	<b>20</b>	<b>44</b>

### Bibliografía básica

#### Sistemas dinámicos continuos, ecuaciones diferenciales

1. Allman E, Rhodes JA. (2003). *Mathematical Models in Biology: An Introduction*. Cambridge.
2. Daniel Wallach David Makowski James Jones Francois Brun. (2018). *Simulation With Dynamic System Models*. In the book: *Working with Dynamic Crop Models*. Academic Press.
3. Uri Alon (2006): *An Introduction to Systems Biology: Design Principles of Biological Circuits* (Chapman & Hall/CRC Mathematical and Computational Biology)
4. Kunihiko Kaneko (2006): *Life: An Introduction to Complex Systems Biology*. Springer.

#### Modelos de ecuaciones estructurales

1. Earp, J. A., & Ennett, S. T. (1991). Conceptual models for health education research and practice. *Health Education Research*, 6(2), 163–171. <https://doi.org/10.1093/her/6.2.163>
2. Grace, J. B., Scheiner, S. M., & Schoolmaster, D. R. J. (2015). Structural equation modeling: building and evaluating causal models. In G. A. Fox, S. Negrete-Yankelevich, & V. J. Sosa (Eds.), *Ecological Statistics: Contemporary theory and application* (pp. 168–199). Oxford University Press. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2005\)86\[810:ES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2005)86[810:ES]2.0.CO;2)
3. Grace, J. B. (2006). *Structural Equation Modelling and Natural Systems*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511617799>
4. Shipley, B. (2016). *Cause and Correlation in Biology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139979573>

#### Modelos de equilibrio parcial y modelación multiobjetivo

1. S. López-Ridaura, H. van Keulen, M. K. van Ittersum & P. A. Leffelaar. 2005. Multi-scale sustainability evaluation of natural resource management systems: Quantifying indicators for different scales of analysis and their trade-offs using linear programming, *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 12:2, 81-97, DOI:10.1080/13504500509469621.
2. Sallan, J.M., Lordan, O., Fernandez, V. 2015. *Modeling and solving Linear programming with R*. OmniaScience.
3. Zander, P., Kächele, H. 1999. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. *Agricultural Systems* 59, 311-325.

#### Modelación global

1. Rasch, Philip J. (Ed.). 2012. *Climate Change Modeling Methodology*. Springer.
2. Dessler, A. 2016. *Introduction to Modern Climate Change*. Cambridge Univ. press.
3. Houghton, J. 2015. *Global Warming: The Complete Briefing*. Cambridge Univ. press.
4. <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>
5. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/multidimensional/what-is-netcdf-data.htm>

#### Análisis de redes sociales

1. Barabási A.L. *Network Science*. Cambridge University Press. [<http://networksciencebook.com/>]
2. Scott, J. (2012). *Social network analysis*. Sage.



# TEMARIO

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

<https://docs.google.com/viewer?α=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmxiXjZb3JlZGVzb2F4YWNhfGd4OjY1OGRmMzk0OTczYjY4YjM>

### Bibliografía complementaria

(se recomienda utilizar bibliografía actualizada)

#### Sugerencias didácticas:

(marcar con una X la sugerencia didáctica que se utilizará para abordar los temas. Es importante tomar en cuenta que si la actividad tiene horas prácticas en las sugerencias deberá haber herramientas prácticas para el aprendizaje de los temas)

- X Exposición oral
- X Exposición audiovisual
- X Ejercicios dentro de clase
- X Ejercicios fuera del aula
- \_\_\_ Seminarios
- X Lecturas obligatorias
- \_\_\_ Trabajos de investigación
- \_\_\_ Prácticas de taller o laboratorio
- \_\_\_ Prácticas de campo
- \_\_\_ Otros (indicar cuáles)

#### Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos:

(marcar con una X el mecanismo que se utilizará para evaluar el aprendizaje. Se recomienda que para la evaluación sean tomadas en cuenta las sugerencias didácticas señaladas)

- \_\_\_ Exámenes parciales
- \_\_\_ Examen final escrito
- X Tareas y trabajos fuera del aula
- \_\_\_ Exposición de seminarios por los alumnos
- \_\_\_ Participación en clase
- \_\_\_ Asistencia
- \_\_\_ Seminario
- \_\_\_ Otros (indicar cuáles)

#### Línea de investigación:

(en caso de que la actividad corresponda a una de las líneas de investigación que se desarrollan dentro de los campos de conocimiento del programa)

#### Perfil profesiográfico

Los docentes deberán tener estudios de posgrado en modelación numérica de sistemas naturales, sociales o mixtos, y habilidades en la docencia de lenguajes de programación.