

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Ingeniería de Procesos
Carrera:	Ingeniería Bioquímica
Clave de la asignatura:	BQF-1013
SATCA*	3-2-5

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura permite incorporar conocimientos sobre la simulación, control y optimización en los que se utilicen de manera sostenible los recursos naturales en la industria de las transformaciones bioquímicas, lo que permite desarrollar habilidades para el diseño y selección de equipos.

Es una materia de ingeniería aplicada que se ubica al principio del tercer tercio de la retícula, proporciona herramientas para realizar simulaciones y optimizaciones de equipos procesos lo que permite al estudiante una correcta toma de decisiones en las actividades propias de la ingeniería

Por lo tanto la asignatura aporta al perfil del Ingeniero Bioquímico la capacidad de:

- Diseñar, seleccionar, adaptar, operar, controlar, simular, optimizar y escalar equipos y procesos en los que se aprovechen de manera sustentable los recursos bióticos.
- Identificar y aplicar tecnologías emergentes relacionadas con el campo de acción del Ingeniero Bioquímico.
- Realizar investigación científica y tecnológica en el campo de la Ingeniería Bioquímica y difundir sus resultados.

En particular, lo trabajado en esta asignatura se aplica en el estudio de, las asignaturas de Ingeniería de proyectos, Formulación y evaluación de proyectos. Además complementa especialidades como Alimentos, Ambiental y Biotecnología, en asignaturas como Ingeniería de los Alimentos e Ingeniería ambiental

Intención didáctica.

El curso de Ingeniería de procesos se ha integrado de manera que el estudiante maneje los conceptos indispensables para el modelado, y optimización procesos de transformación, y desarrolle habilidades para su aplicación en la resolución de problemas propios de la industria, por lo que se han seleccionado contenidos clasificados en cuatro unidades temáticas en una secuencia lógica que le permita su mejor comprensión, enfocadas hacia los fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas de los mismos, promoviendo la participación activa del estudiante en actividades de investigación y en el uso de la tecnología para que genere estrategias para dar solución a los problemas propios de la industria, también se promueve la elaboración de reportes técnicos, explicativos de los procesos de transformación en la industria.

En la primera unidad se abordan los conceptos básicos indispensables para la comprensión de los procesos, así como la importancia de la ingeniería de procesos dentro de la industria de la transformación, los aspectos relacionados con la simulación, instrumentación y optimización, se desarrolla la metodología para el análisis de diagramas de flujo de los procesos y se determinan los grados de libertad de los proceso, se hace un análisis de los diferentes métodos de análisis de procesos , heurístico, evolutivo, algorítmico y análisis de módulos básicos.

* Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

En la segunda unidad se abordan contenidos relacionados con modelos matemáticos, terminología, clasificación, modelos matemáticos basados en la naturaleza de las ecuaciones, modelos determinísticos y probabilísticos, modelos lineales y no lineales, de estado estacionario y no estacionario, modelos paramétricos globalizados y distribuidos a, modelos basados en los principios de fenómenos de transporte.

En la tercera unidad se hace una introducción a la simulación, se analizan los criterios de estabilidad y se hacen pruebas de determinación de la sensibilidad y se analizan los métodos de convergencia, se hacen ejercicios de simulación de operaciones de transferencia de materia y energía, de reactores químicos. Posteriormente se hace un estudio introductorio hacia los programas comerciales de simulación tales como: Aspen, Hysim, Superpro, Biopro, MathLab, Simnon, Hysys, entre otros. Por último se desarrollan ejercicios de aplicación de simuladores

Comerciales.

En la cuarta unidad se hace una introducción sobre la optimización de procesos se analizan las características de los problemas de optimización se hacen ajuste de datos empíricos a funciones, se establece la función objetivo, se elijen los métodos numéricos para la optimización de funciones no restringidas, el método de Newton, el Semi-Newton, método de la secante y el método de eliminación de regiones. Se analizan y aplican los métodos de optimización de funciones multivariable como métodos directos e indirectos, método de diferencias finitas.

Se sugiere una actividad integradora, que permita relacionar y aplicar los conceptos analizados durante el curso. Esto permite dar un cierre a la materia mostrándola como indispensable en el desempeño profesional, independientemente de la utilidad que representa en el tratamiento de temas en materias posteriores.

El enfoque sugerido para la materia requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación y operación de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón varias de las actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado. En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el profesor busque sólo guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de las variables a controlar y registrar. Para que aprendan a planificar, que sean autónomos, capaces de generar su propio aprendizaje.

La lista de actividades de aprendizaje no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse como actividad extra clase y comenzar el tratamiento en clase a partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se acostumbre a reconocer los fenómenos físicos en su alrededor y no sólo se hable de ellos en el aula. Es importante ofrecer escenarios distintos, ya sean construidos, artificiales, virtuales o naturales

En las actividades de aprendizaje sugeridas, generalmente se propone la formalización de los conceptos a partir de experiencias concretas; se busca que el alumno tenga el primer contacto con el concepto en forma concreta y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que se dé la formalización; la resolución de problemas se hará después de este proceso. Esta resolución de problemas no se especifica en la descripción de actividades, por ser más familiar en el desarrollo de cualquier curso. Pero se sugiere que se diseñen problemas con datos faltantes o sobrantes de manera que el alumno se ejercite en la identificación de datos relevantes y elaboración de suposiciones.

Durante el transcurso de las actividades programadas es trascendental que el estudiante

aprenda a evaluar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su hacer futuro y en consecuencia actúe de una manera profesional; de igual manera, aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión, la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía.

Es necesario que el profesor no solo ponga atención y cuidado en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura sino que además realice un correcto seguimiento del desempeño del estudiante.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar procesos con metodologías que permitan el desarrollo la transferencia y la adaptación de tecnologías para el aprovechamiento de los recursos bióticos • Analizar equipos y procesos a través de metodologías que permitan identificar las variables que los definen y las rutas de solución • Modelar equipos y procesos de Ingeniería Bioquímica, aplicando balances de materia, de energía y de momento • Simular equipos y procesos de Ingeniería bioquímica, mediante software libre y comercial • Optimizar equipos y procesos de Ingeniería bioquímica, mediante software libre y comercial 	<p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Capacidad de organizar y planificar • Conocimientos básicos de la carrera • Comunicación oral y escrita • Habilidades básicas de manejo de la computadora • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas • Solución de problemas • Toma de decisiones <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad crítica y autocrítica • Trabajo en equipo • Habilidades interpersonales <p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Habilidades de investigación • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) • Habilidad para trabajar en forma autónoma • Búsqueda del logro
--	---

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
---	---------------	--------

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
IT de Villahermosa Del 7 al 11 de septiembre de 2009	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: IT de Celaya IT de Culiacán IT de Durango IT de Mérida IT de Morelia IT de Tepic IT de Tijuana IT de Tuxtepec IT de Veracruz IT de Villahermosa ITS de Tehuacán	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para la formación y desarrollo de competencias profesionales de la carrera de Ingeniería Bioquímica
Instituto Tecnológico de Durango del 14 de septiembre del 2009 al 5 de febrero del 2010	Representante de la Academia de Ingeniería Bioquímica	Análisis, enriquecimiento y elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la carrera de Ingeniería Bioquímica
IT de Celaya Del 8 al 12 de febrero de 2010	Representantes de los Institutos Tecnológicos participantes de: IT de Celaya IT de Culiacán IT de Durango IT de Mérida IT de Morelia IT de Tijuana IT de Tuxtepec IT de Veracruz IT de Villahermosa ITS de Tehuacán	Reunión Nacional de Consolidación de la carrera de Ingeniería Bioquímica

5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

Modelar, simular y optimizar equipos y procesos, para interactuar de manera interdisciplinaria y multidisciplinaria en desarrollar, transferir y adaptar tecnología apropiada para el aprovechamiento de los recursos bióticos.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Resolver ecuaciones diferenciales.
- Resolver sistemas de ecuaciones lineales y no lineales por métodos analíticos y numéricos.
- Utilizar transformadas de Laplace.
- Resolver series de Taylor, de Fourier
- Aplicar balances de materia y energía haciendo uso de la primera y segunda ley de la termodinámica.
- Aplicar conceptos, principios, métodos y criterios para diseñar, seleccionar, operar y adaptar equipos industriales para el manejo y transformación de recursos bióticos.

- Aplicar los conceptos y criterios necesarios para adaptar, seleccionar, diseñar, escalar y operar reactores biológicos.
- Diseñar, seleccionar y operar procesos de recuperación y purificación de productos de origen biológico.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Conceptos básicos	1.1. Conceptos. 1.1.1. Ingeniería de procesos. 1.1.2. Síntesis de procesos. 1.1.3. Simulación, control y optimización de procesos. 1.2. Análisis de Diagrama de Flujo de Procesos (DFP) y determinación de grados de libertad. 1.3. Método heurístico. 1.4. Método evolutivo. 1.5. Método algorítmico. 1.6. Análisis de módulos básicos
2	Modelos matemáticos.	2.1. Terminología de modelos matemáticos 2.2. Clasificación de modelos matemáticos 2.2.1. Teóricos. 2.2.2. Semi-teóricos. 2.2.3. Empíricos. 2.3. Modelos matemáticos basados en la naturaleza de las ecuaciones. 2.3.1. Modelos determinísticos y probabilísticos. 2.3.2. Modelos lineales y no lineales. 2.3.3. Modelos de estado estacionario y no estacionario. 2.3.4. Modelos de parámetros globalizados y distribuidos 2.4. Modelos matemáticos basados en los principios de los fenómenos de transporte. 2.4.1. Descripción molecular. 2.4.2. Descripción microscópica. 2.4.3. Descripción de gradiente múltiple. 2.4.4. Descripción de gradiente máximo. 2.4.5. Descripción macroscópica.
3	Simulación.	3.1. Introducción a la simulación. 3.2. Criterios de estabilidad. 3.3. Determinación de la sensibilidad. 3.4. Métodos de convergencia. 3.5. Simulación de operaciones de transferencia de materia. 3.6. Simulaciones de operaciones de transferencia de energía. 3.7. Simulación de reactores químicos.

		<p>3.8. Programas comerciales de simulación.</p> <p>3.8.1. Introducción al uso de simuladores comerciales: Aspen, Hysim, Superpro, Biopro, MathLab, Simnon, Hysys, entre otros.</p> <p>3.8.2. Aplicación de simuladores comerciales.</p>
4	Optimización.	<p>4.1. Introducción a la optimización.</p> <p>4.1.1. Características de los problemas de optimización.</p> <p>4.1.2. Ajuste de datos empíricos a funciones.</p> <p>4.1.3. Función objetivo.</p> <p>4.2. Optimización de funciones no restringidas.</p> <p>4.2.1. Métodos numéricos para optimización de funciones.</p> <p>4.2.2. Método de Newton.</p> <p>4.2.3. Método de Semi-Newton (Quasi-Newton).</p> <p>4.2.4. Método de la Secante.</p> <p>4.2.5. Métodos de eliminación de regiones.</p> <p>4.3. Optimización de funciones multivariables.</p> <p>4.3.1. Métodos Directos.</p> <p>4.3.2. Métodos Indirectos.</p> <p>4.3.3. Método de Diferencias Finitas.</p> <p>4.4. Aplicaciones de optimización.</p>

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

El profesor debe:

Ser conocedor de la disciplina que está bajo su responsabilidad, conocer su origen y desarrollo histórico para considerar este conocimiento al abordar los temas. Desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo; orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía, el trabajo cooperativo, el análisis objetivo, y la toma de decisiones. Tomar en cuenta el conocimiento de los estudiantes como punto de partida y como una limitante para la construcción de nuevos conocimientos. Dar seguimiento continuo a las actividades propuestas así como desarrollar estrategias para la colecta de evidencias del progreso de los estudiantes.

- Propiciar actividades de metacognición, que permitan al alumno reflexionar sobre lo aprendido, que aprendió y cuál fue el mecanismo mediante el cual lo hizo.
- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes.
- Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de los contenidos de la asignatura.
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes.

- Propiciar, en el estudiante, el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, las cuales lo encaminan hacia la investigación, la aplicación de conocimientos y la solución de problemas.
- Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de trabajo en equipo.
- Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.
- Propiciar el uso adecuado de conceptos, y de terminología científico-tecnológica
- Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución.
- Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente; así como con las prácticas de una ingeniería con enfoque sustentable.
- Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

La evaluación debe ser continua y formativa por lo que se debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

- El diseño de experimentos y sus reportes por escrito así como de las observaciones hechas durante las actividades, la discusión y conclusión de resultados concretos y bien fundamentados.
- La información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos.
- La resolución de problemas asignados durante el desarrollo del contenido de cada unidad.
- La descripción de otras experiencias concretas que podrían realizarse adicionalmente con el afán de inducir un ambiente propositivo y crítico-constructivo.
- Desarrollar modelos y/o simulaciones de los fenómenos revisados
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- El cumplimiento de las actividades, así como la habilidad de interrelacionarse en equipos de trabajo y desempeño autónomo.

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Conceptos básicos

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Analizar procesos con metodologías que permitan el desarrollo, la transferencia y la adaptación de tecnologías para el aprovechamiento de los recursos bióticos</p> <p>Analizar equipos y procesos a través de metodologías que permitan identificar las variables que los definen y las rutas de solución</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establece las condiciones de operación de una planta de la industria alimentaria, aplicando la metodología de Módulos básicos. • Investiga y describe ejemplos de modelos heurísticos, algorítmicos y evolutivos del área de ingeniería bioquímica. • Identifica las variables de diseño, las definidas y las calculadas de equipos y procesos, mediante el algoritmo de Lee-Rudd • Propone rutas para la solución de

	procesos mediante el análisis de diagrama de flujo.
--	---

Unidad 2: Modelos matemáticos

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Modelar equipos y procesos de Ingeniería Bioquímica, aplicando balances de materia, de energía y de momento	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza modelos matemáticos que describen equipos mediante balances macroscópicos y microscópicos de materia • Realiza modelos matemáticos que describen equipos mediante balances macroscópicos y microscópicos de energía así como la transferencia de ésta. • Realiza modelos matemáticos que describen equipos mediante balances macroscópicos y microscópicos de momento • Modela un proceso que describa el funcionamiento de una planta de la industria alimentaria

Unidad 3: Simulación

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Simular equipos y procesos de Ingeniería bioquímica, mediante software libre y comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Investiga y explica las bases de métodos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias y sistemas de ecuaciones no lineales • Resuelve ecuaciones diferenciales ordinarias desarrollando los métodos numéricos de Gauss y de Runge Kutta • Resuelve sistemas de ecuaciones no lineales desarrollando los métodos numéricos de Newton-Raphson, Wegstein, falsa posición, entre otros • Resuelve problemas de simulación de diversos equipos del área de ingeniería bioquímica utilizando software libre o comercial que permita resolver ecuaciones diferenciales ordinarias y sistemas de ecuaciones no lineales tal como Matlab, Maple, Octave, Maxima, etc) • Simula procesos simples empleando software especializado como Simulink , Comsol o Chemcad

Unidad 4: Optimización.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Optimizar equipos y procesos de Ingeniería bioquímica, mediante software libre y comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Investiga y explica las bases de métodos numéricos para optimizar funciones no restringidas y multivariadas

	<ul style="list-style-type: none"> • Resuelve problemas de optimización empleando métodos numéricos: Newton, Quasi-Newton, Secante, eliminación de regiones y diferencias finitas • Resuelve problemas de optimización de funciones no restringidas utilizando software libre o comercial como Matlab, Maple, Octave, Maxima, entre otros. • Resuelve problemas de optimización de funciones multivariables utilizando software libre o comercial como Matlab, Maple, Octave, Maxima, entre otros.
--	---

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Beveridge, S.G. *Optimization: Theory and practice*. Mc Graw Hill. New York. 1997.
2. Biegler L.T., Grossmann I.E. & Westerberg, A.W. *Systematic Methods of Chemical Process Design*. Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series. U.S.A. 1997.
3. Cerro, R. L., Arri, L. E., Chiovetta, M. G., Pérez, G. *Curso Latinoamericano de Diseño de Proceso por Computadora*. Tomos I y II, Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química, Universidad Nacional del Litoral. Argentina. 1978.
4. Douglas, James M. *Conceptual Design of Chemical Processes*. McGraw Hill. N.Y. 1988.
5. Edgar, T.F., Himmelblau, D.M & Lasdon, L.S. *Optimization of Chemical Processes* 2nd Edition. McGraw-Hill International Editions Chemical Engineering Series. New York 2001.
6. Fishwick, Paul A. *Simulation Model Design and Execution*. Prentice Hall. International Series in Industrial and Systems Engineering. U.S.A. 1995.
7. Franks Rogers, G.E. *Modeling and Simulation in Chemical Engineering*. Wiley Interscience. New York 2002.
8. Himmelblau, D. M. y Bischoff, K.B. *Análisis y Simulación de Procesos*. Reverté, S.A. España. 1992.
9. Jiménez Gutiérrez Arturo. *Diseño de Procesos en ingeniería Química*. Reverté, S.A. España. 2003
10. King. C.J., Gantz, D.W. & Barnés, F.J. *Systematic Evolutionary Process Synthesis*. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., Vol 11, No. 2. U.S.A.1972.
11. Liu, Y. A., Mcgee, H. A. Jr. and Epperly, W. R. *Recent Developments in Chemical Process and Plant Design*. John Wiley and Sons. NewYork 1987.
12. Luyben, W. L. *Process Modeling: Simulation and Control for Chemical Engineering*. Mc Graw-Hill, New York. 1990.
13. Nagdir, V.M. & Liu, Y.A. *Studies in Chemical Process Design and Synthesis: Part V: A simple Heuristic Method for Systematic Synthesis of Initial Sequences for Multicomponent Separations* *AIChE Journal* Vol.29, No. 6 U.S.A 1983
14. Scenna, N. (1999) *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos*. Libro electrónico consultado el 9 de febrero del 2010 en: <http://www.modeloingenieria.edu.ar/libros/modeinge/modinge.htm>.
15. Perry, R. *Manual del Ingeniero Químico* (Cap 22). Mac Graw-Hill, N.Y. USA. 1992.
16. Peters M. S., Timmerhaus K. D. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Mc Graw Hill. New York. 1968.
17. Reklaitis, G. V., Ravindran, A. Ragsdell, K. M. *Engineering Optimization. Methods and Applications*. John Wiley & Sons. New York. USA. 1983.

18. Rousseau, R. W. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons. New York. USA. 1987.
19. Rudd, Dale F. and Watson, Charles C. *Estrategias en Ingeniería de Procesos*. Alhambra. España 1986.
20. Rudd, Dale F. and Watson, Charles C. *Strategy of Process Engineering*. John Wiley & Sons. New York. 1968.
21. Seader, W. D. & Lewin J.D. D.R. *Product & Process Design Principles*, 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc. USA. 2004.
22. Smith, H. *Chemical Process Design*. Mc Graw Hill, USA. 1995.
23. Turton, R., Bailie, R, Whiting, W & Shaeiwitz, J. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series. U.S.A. 1998.
24. Ulrich, G.D. *Procesos de Ingeniería Química. Diseño y Economía de los procesos de Ingeniería Química*. Nueva Editorial Interamericana. S.A. de C.V. México. 1986
25. Vilbrand, F.C., Dryden, Ch. E. *Chemical Engineering Plant Design*. 4th Edition. International Student Edition. Mc Graw Hill Int. Book Co. U.S.A. 1999.
26. Duran, M. A. & Grossmann, I. E. *Simultaneous Optimization and Heat Integration of Chemical Processes*. AIChE Journal, Vol. 32 pp 123. 1986.

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Desarrollar un modelo matemático de un proceso en estudio.
- Realizar la simulación de un proceso.
- Emplear simuladores comerciales como: MATLAB, VISIO, SIMNON, HYSIM, ASPEN, HYSYS, SUPERPRO, STORM, WinQSB, LINDO6, PROJECT Y BIOPRO en la solución de modelos matemáticos desarrollados en los talleres.