

ASIGNATURA: 15280 - SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA

CENTRO: Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles

TITULACIÓN: Ingeniero Industrial

DEPARTAMENTO: MATEMÁTICAS

ÁREA: Matemática Aplicada

PLAN: 10 - Año 2000 **ESPECIALIDAD:**

CURSO: Cr. comunes ciclo **IMPARTIDA:** Segundo semestre **TIPO:** Optativa

CRÉDITOS: 6

TEÓRICOS: 3

PRÁCTICOS: 3

Descriptores B.O.E.

Simulación numérica en ingeniería. Optimización global y multiobjetiva. Aplicaciones

Temario

PROGRAMA

BLOQUE 1: MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS.

TEMA 1 GENERACIÓN DE VARIABLES ALEATORIAS DISCRETAS

(5 Horas)

Generación de Números Pseudo-aleatorios. Generación de números Quasi-aleatorios. Uso de número aleatorios para evaluar integrales. Método de la Transformada Inversa. Generación de variables aleatorias de Poisson y Binomiales. Técnica de Aceptación-Rechazo

TEMA 2. GENERACIÓN DE VARIABLES ALEATORIAS CONTÍNUAS

(5 Horas)

El algoritmo de la Transformada Inversa. El método de Rechazo. Generación de variables aleatorias Normales, de Poisson. Generación de Procesos de Poisson No Homogéneos

TEMA 3. SIMULACIÓN MEDIANTE EVENTOS DISCRETOS.

(5 Horas)

Simulación vía Eventos Discretos. Verificación de simuladores y Análisis estadístico de datos simulados. Técnicas estadísticas de validación. Sistemas de colas con servidores en serie y/o paralelo. Sistemas de Reparación. Otros ejemplos

TEMA 4. TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE VARIANZA

(5 Horas)

Uso de Variables Antitéticas

Uso de Variables de Control. Reducción de varianza por Condicionamiento. Muestreo Estratificado. Muestreo por Importancia

BLOQUE 2 MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN NUMÉRICA CON APLICACIONES A

MEDIO AMBIENTE.

TEMA ECUACIONES CONSTITUTIVAS. INTRODUCCIÓN AL METODO DE VOLÚMENES FINITOS INTRODUCCIÓN A LA MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN NUMÉRICA EN MEDIO AMBIENTE.

(5 Horas)

Forma conservativa de las ecuaciones constitutivas para un flujo de fluido. Ecuación general del transporte: ecuaciones de Navier-Stokes para flujos turbulentos Introducción a modelos de turbulencia

Simulación Numérica en Medio Ambiente: ecuaciones de estado en la atmósfera y mar Ecuaciones de transporte 3D. Fuerzas volumétricas Introducción al método de volúmenes finitos.

TEMA SIMULACIÓN DE CAMPOS DE VELOCIDADES DEL AIRE Y CORRIENTES MARINAS. MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

(5 Horas)

Simulación de campos de viento y corrientes marinas mediante modelo MMC. Estructura de la atmósfera. composición de la atmósfera. transferencia de energía en la atmósfera. Factores que intervienen en los movimientos de gases de la atmósfera. Estabilidad atmosférica. Clases de estabilidad de Pasquill. Efecto cortante del viento. Perfiles logarítmicos para el cálculo de distribuciones de viento en la vertical

TEMA. MODELIZACION Y SIMULACIÓN NUMÉRICA EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

(5 Horas)

Modelos matemáticos para estimar la contaminación atmosférica. Modelos gaussianos. Modelos eulerianos y lagrangianos. Modelos climatológicos y Modelos episódicos. Modelos de diagnóstico y de pronóstico. Fuentes. Condiciones de contorno. Un modelo euleriano para el transporte y difusión de los contaminantes atmosféricos. Coeficientes turbulentos de difusividad vertical. Coeficientes turbulentos de difusividad horizontal Términos fuentes. Reacciones químicas

TEMA SOFTWARE DE PREDICCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA Y DE VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES

(5 Horas)

Software ISCLT3 ("Industrial Source Complex Long Term") de la EPA, USA Software de estimación de la contaminación en un medio acuático por vertidos de aguas residuales. Software de simulación de contaminantes en medio acuático CORMIX

Bloque 3. OPTIMIZACIÓN

Tema 1. INTRODUCCIÓN

(1 Horas)

Óptimos Locales y Globales. Clasificación de métodos y de los problemas de Optimización. Técnicas Clásicas. Programación Lineal, No Lineal sin/con restricciones, Geométrica, Dinámica, Entera, Programación estocástica y evolutiva, optimización multiobjetivo

TEMA 2. CONVEXIDAD DE CONJUNTOS Y FUNCIONES

(2 Horas)

Condiciones para la cuasiconvexidad de funciones diferenciables.

Condiciones de globalidad. Teorema de Weierstrass y Teorema Fundamental de la Programación Convexa. Aplicaciones.

TEMA 3. PROGRAMACIÓN NO LINEAL SIN/CON RESTRICCIONES

(3 Horas)

1. Optimización Sin Restricciones (OSR): Métodos Directos e Indirectos. Clasificación
2. OSR usando Métodos Directos de búsqueda aleatoria
3. OSR usando el Método Indirecto de Gradiente Conjugado (Fletcher-Reeves)
4. Optimización Con Restricciones (OCR): Métodos Directos e Indirectos. Clasificación
5. OCR usando Métodos Directos de Gradiente
6. OCR usando Métodos Indirectos basados en Multiplicadores de Lagrange
7. Comprobación de convergencia en problemas de OCR y Casos Test

TEMA 4. TÉCNICAS INTELIGENTES DE OPTIMIZACIÓN

(2 Horas)

1. Fundamentos y Características de las Técnicas Inteligentes de Optimización. Clasificación de las Técnicas Inteligentes de Optimización. Algoritmos Genéticos. Estrategias Evolutivas. Búsqueda Tabú. Redes Neuronales. Inventario de Aplicaciones en Ingeniería

TEMA 5. ALGORITMOS GENÉTICOS

(8 Horas)

Fundamentos de los Algoritmos Genéticos: Paralelismo con los procesos naturales de evolución de las especies. Algoritmos Genéticos de Codificación Binaria. Algoritmos y Parámetros. Operadores Binarios, Selección, Cruce, Mutación, Reparación y Repoblación. Algoritmos Genéticos de Codificación Real. Algoritmos y Parámetros.

Operadores Reales, Selección, Cruce, Mutación, Reparación y Repoblación.

Operadores: Dependencias, Balance Exploración-Explotación

Convergencia de los Algoritmos Genéticos. Estrategia de Estado Estacionario.

Métodos Multiobjetivo: MOGA, NSGA, NSGAI, SPEAI, etc

Implementación Computacional de los Algoritmos Genéticos.

TEMA 6. Problemas de optimización en Ingeniería:

(2 Horas)

Optimización multimodal del transporte de mercancías. optimización económica-ambiental del despacho de cargas y deslastre y reposición de cargas en sistemas eléctricos de potencia. Optimización económica-ambiental de ubicaciones de emisarios submarinos. Optimización multiobjetivo en el cálculo estructural de pórticos de estructuras metálicas. Otros problemas.

TEMA 7. DISEÑO AVANZADO EN INGENIERÍA

(2 Horas)

Uso conjunto de Modelado, Cálculo, Simulación y Optimización en Ingeniería. Inventario de aplicaciones de Diseño Avanzado en Ingeniería (DAI). DAI: Diseño de Sistemas de Seguridad/Protección de Instalaciones Industriales. DAI: Despacho de la Carga en Sistemas Eléctricos de Potencia. DAI: Diseño de un Sistema de Almacenamiento de Cemento en Silos.

Conocimientos Previos a Valorar

Se necesita dominar los contenidos docentes de las asignaturas Cálculo I , Cálculo II ,Álgebra y Ampliación de Matemáticas I y II

Objetivos

La formulación de un modelo que describa un fenómeno real ha sido en general abordada buscando un compromiso entre elegir un modelo que represente lo más fielmente posible la situación actual y elegir un modelo cuyo análisis matemático sea tratable. El progreso técnico de los últimos años permite disponer de potentes ordenadores a bajo coste, así como de software

capaz de interconectar muchos de ellos para realizar cálculos en proceso paralelo y/o distribuido. Por ello, recientemente se abre paso entre científicos y técnicos la idea de obtener un modelo que represente lo más fielmente posible la situación actual y proceder a continuación mediante simulación sobre el mismo para analizarlo.

En el primer bloque se muestra como analizar un modelo mediante el uso de un estudio basado en simulación. Se muestra como usar un ordenador para generar números aleatorios, diferenciando entre números pseudo-aleatorios que pueden considerarse como la opción “clásica”, y números quasi-aleatorios que constituyen un reciente avance con interesantes propiedades. También se muestra como en base a números aleatorios pueden generarse valores de variables aleatorias que siguen diversas distribuciones, tanto variables discretas (especialmente variables aleatorias Binomiales y de Poisson) como continuas (especialmente variables aleatorias Normales). Usando el concepto de eventos discretos se muestra como usar variables aleatorias para generar el comportamiento de un modelo estocástico en el tiempo. Mediante la continua generación de ese comportamiento se presenta como se obtienen estimadores de las magnitudes de interés. Las cuestiones estadísticas de cuando parar la simulación y el nivel de confianza de los resultados obtenidos son también presentadas. Varios ejemplos significativos se emplean para ilustrar los contenidos.

Un apartado de especial relevancia es el que muestra la filosofía general de los métodos que permiten aumentar la eficiencia del proceso de simulación, denominados Métodos de Reducción de Varianza. Por su especial relevancia en muchos problemas del ámbito de la ingeniería se hace hincapié en el uso de Variables Antitéticas que siempre se traducirán en reducción de varianza y ahorros computacionales cuando se trata de estimar el valor esperado de una función que es monótona en cada una de sus variables. También se presentan los métodos de Variables de Control, muestreo por Importancia y muestreo Estratificado. Se hace especial énfasis en un aspecto práctico de especial utilidad como es la identificación de la reducción de varianza más adecuada para el problema en función de la información disponible.

Se finaliza con una tema dedicada a las Cadenas de Markov Monte Carlo (CMMC). Estas técnicas se han extendido considerablemente el uso de simulación en los últimos años. Mediante CMMC se sustituye el paradigma clásico en simulación por la generación de una Cadena de Markov cuya distribución límite es la distribución de las variables aleatorias a generar, estimando el parámetro deseado por un promedio evaluado sobre los sucesivos estados de la cadena. Con ello se consigue aplicar simulación a dos situaciones muy frecuentes para las cuales el método “clásico” no permite estimar dicho parámetro: Cuando la distribución de las variables aleatorias es conocida pero no se pueden simular vectores aleatorios desde ellas, y cuando la distribución de las variables aleatorias no es completamente conocida. El tema comienza presentando algunas propiedades de las Cadenas de Markov, continua mostrando una técnica general de Metrópolis-Hastings para generar cadenas de Markov bajo ciertas circunstancias comunes. Se presenta a continuación la versión más usada del algoritmo de Metrópolis-Hastings, conocida como el Muestreo de Gibbs. Se finaliza con una aplicación concreta muy conocida denominada Recocido Simulado así como algunos ejemplos de aplicación de interés.

En el segundo bloque se aborda la modelización y simulación numérica con aplicaciones a medio ambiente. Se inicia con un tema donde se describen las ecuaciones conservativa asociadas para un flujo de fluido ideal. Se describen: ecuaciones de Navier-Stokes para flujos turbulentos y una introducción a modelos de simulación numérica de la turbulencia. Posteriormente se trata la simulación numérica en medio ambiente: considerando ecuaciones adicionales de estado en la atmósfera y mar. Se introduce el método de volúmenes finitos.

Se aborda la simulación de campos de velocidades del aire y corrientes marinas, y la modelización y simulación de dispersión de contaminantes atmosféricos: simulación de campos de viento y corrientes marinas mediante modelo MMC.

Se describe la estructura de la atmósfera, composición de la misma, así como la transferencia de energía en la atmósfera, Factores que intervienen en los movimientos de gases de la atmósfera, estabilidad atmosférica, Clases de estabilidad de Pasquill, Efecto cortante del viento, y perfiles

logarítmicos para el cálculo de distribuciones de viento en la vertical

Finalmente se tratan modelos matemáticos para estimar la contaminación atmosférica, entre ellos modelos gaussianos y un modelo euleriano para el transporte y difusión de los contaminantes atmosféricos con volúmenes finitos. El último tema trata de conocer y aplicar software de predicción de contaminantes en la atmósfera y de vertidos de aguas residuales, viéndose los software ISCLT3 (“Industrial Source Complex Long Term”) de la EPA, USA para contaminación atmosférica y software de estimación de la contaminación en un medio acuático por vertidos de aguas residuales. Software de simulación de contaminantes en medio acuático CORMIX

En el tercer bloque: la siempre creciente exigencia sobre los ingenieros de disminuir los costes de producción para mantener la competitividad de las empresas, ha obligado a estos a una búsqueda constante de métodos rigurosos de toma de decisiones, tales como los métodos de optimización, para diseñar y producir productos de forma económica y eficiente. Las técnicas de optimización han alcanzado un alto grado de madurez en los últimos años y están siendo usadas en un amplio espectro de industrias, ya no solo en las grandes sino también en la mediana y pequeña empresa. Debido al rápido avance de la tecnología de los ordenadores, estos se han vuelto muy potentes y baratos, por lo que el tamaño y la complejidad de los problemas abordados mediante optimización es cada vez mayor. Los métodos de optimización de última generación, tales como los así denominados “inteligentes”, acoplados con métodos de simulación y cálculo, bases de datos e interfases de usuario muy amigables, permiten crear complejas herramientas software de diseño asistido por ordenador que han enriquecido los procesos creativos, tanto a nivel conceptual como de detalle, permitiendo a los ingenieros establecer importantes avances tanto en los productos como en las cadenas de producción.

Lo primero es mostrar al estudiante de ingeniería una visión integral de las metodologías de optimización, tanto de las basadas en Programación Matemática como de las recientemente basadas en conceptos de Inteligencia Artificial, así como de sus aplicaciones a múltiples problemas asociados a la industria. Dada la gran cantidad de metodologías existentes y a que algunas de ellas ya han sido impartidas en otras asignaturas, se ha optado por un diseño docente que incluye un capítulo descriptivo más uno de especialización para la Programación Matemática y lo mismo para los métodos basados en conceptos de Inteligencia Artificial. De esta forma el alumno recibe una visión amplia de las metodologías asociadas a cada área y una especialización en la metodología más usada en cada una de ellas.

Se trata la importancia de la optimización en ingeniería, la conceptualización de lo que constituye un problema de optimización, la clasificación de los problemas y las metodologías así como un inventario de aplicaciones. Seguidamente se abordan los conceptos de convexidad en conjuntos y funciones, las condiciones de globalidad y Teorema Fundamental de la Programación Convexa. Luego describe las técnicas de optimización basadas en Programación Matemática, tales como: Programación Lineal y la Programación no Lineal sin/con Restricciones, Programación Geométrica, Programación Dinámica, Programación Entera y Programación Estocástica. La descripción se hará atendiendo a la respectiva formulación de problemas de optimización según cada técnica, las formas resolventes aplicables, el alcance esperado de los resultados y la bibliografía base de consulta tanto para la comprensión metodológica como para consultar casos prácticos.

A pesar de que existen determinados problemas de ingeniería que pueden resolverse usando programación Lineal, Geométrica, Dinámica, Entera o Estocástica, la mayoría de ellos pueden ser resueltos usando técnicas de Programación No Lineal. Por tanto se ha dedicado una tema específicamente a esta metodología. Aún así existe una amplia variedad de métodos desarrollados por lo que se ha optado nuevamente por una descripción general y clasificación de los mismos, seguida de una intensificación en algunos de los más ampliamente difundidos, como es el caso de la Optimización sin Restricciones usando el método directo de Búsqueda Aleatoria y el método indirecto del Gradiente Conjugado, mientras que para el caso de Optimización con Restricciones se profundiza en los métodos directos de Gradiente y métodos indirectos basados en Multiplicadores de Lagrange.

Se describen de los conceptos básicos que inspiran las diferentes Técnicas Inteligentes de Optimización así como una evaluación de su actual grado de desarrollo y las expectativas futuras. A continuación se describen las características fundamentales de aquellas metodologías que se basan en la imitación de los procesos naturales de evolución de las especies, Algoritmos Genéticos y Estrategias Evolutivas, realizando especial énfasis en los conceptos de Población como características que permiten su utilización en optimización. A continuación se describe la técnica denominada Búsqueda Tabú, mostrando como se usa un mecanismo de memoria para recordar movimientos de resultado no deseado, lista tabú, para condicionar la búsqueda hacia puntos óptimos. Se sigue con las denominadas Redes Neuronales que permiten “predecir” valores de las funciones en estudio mediante el uso de un simil de las redes neuronales de los seres vivos previamente “entrenado” con resultados conocidos. Finalizando El tema con un inventario de aplicaciones en problemas de ingeniería.

Tanto por su capacidad como por su versatilidad, de entre las técnicas inteligentes de optimización sobresale la de los Algoritmos Genéticos (AGs), por lo que se dedica un tema una intensificación en esta metodología. Se comienza por la conceptualización de lo que es un problema de optimización planteado en términos de AGs. Se sigue con los denominados Algoritmos Genéticos codificados en Binario, caracterizados por el hecho de que las variables del problema bajo estudio se codifican en binario, analizando en detalle los operadores de Selección, Cruce, Mutación y Repoblación que intervienen e lo largo del proceso de optimización. Se repite el estudio anterior para los AGs en los que las variables se codifican como Números Reales y se estudian los problemas de balance Exploración-Explotación y Convergencia hacia el óptimo Global. Se analizan también los principales métodos en uso para abordar problemas de optimización con más de un objetivo (normalmente en conflicto entre ellos), multiobjetivo, en especial los denominados NSGAI y SPEAI considerados en la actualidad como los más eficientes. Finaliza El tema con la presentación de diversos paquetes software disponibles para la aplicación de los AGs y casos prácticos de interés en el ámbito de la ingeniería.

El último tema se reserva para mostrar el estudiante como una combinación adecuada de metodologías de Modelado, Cálculo, Simulación y Optimización permite abordar problemas de ingeniería de un tamaño y complejidad impensables hace solo unos pocos años. Al contrario que los demás Temas y Lecciones, aquí se abordarán los casos desde el punto de vista del problema y no de la metodología, esto es, se plantea un determinado problema real de ingeniería y se utiliza una combinación adecuada de las metodologías mencionadas para obtener una solución óptima (o varias) del mismo, en lo que se conoce bajo la denominación de Diseño Avanzado en Ingeniería (DAI). Para ello se han elegido cinco problemas reales de DAI de cada uno de los cuales se elabora un dossier que contiene la descripción completa del problema, las metodologías específicas de Modelado, Cálculo, Simulación y Optimización necesarias para su resolución y el software preprogramado suministrado. Con ello los alumnos, convenientemente divididos en grupos, deberán resolver el problema analizando el comportamiento de la resolución ante variaciones que habrán de realizar en los parámetros del modelo y los métodos de cálculo, simulación y optimización. Los casos elegidos pretenden recorrer diferentes métodos de modelado, cálculo, simulación y optimización. En el caso de Diseño de Sistemas de Seguridad/Protección de instalaciones industriales se usa un modelo lógico para representar alternativas de diseño de un sistema de protección antirradiación en una central nuclear, usando como métodos de cálculo tanto una sucesión de Intervalos Encajados, como simulación Monte Carlo sin/con Reducción de Varianza y Algoritmos Genéticos como método de Optimización. En el caso de Diseño de un Sistema de Almacenamiento en Silos de Cemento, se usa un modelo estocástico de la producción de cemento de una fábrica con cuatro líneas de producción en paralelo así como de la demanda de cemento, para simular mediante variables aleatorias tanto la oferta como la demanda. Se buscan la capacidad óptima de los silos de almacenamiento, de tal manera que se minimicen las pérdidas de producción por silos llenos y las pérdidas de suministro de la demanda por tener silos vacíos.

Metodología de la Asignatura

Se empleará una metodología activa orientada a la resolución de problemas

Evaluación

Se realizarán pruebas de evaluación del crecimiento del grado de conocimiento de la materia por parte de los alumnos, así como las pruebas de convocatoria.

Descripción de las Prácticas

Se realizarán prácticas en las que los alumnos afrontarán problemas de complejidad similar a los que afrontarán en su futura experiencia profesional.

Bibliografía

[1] Simulación: métodos y aplicaciones /

David Ríos Insua, Sixto Ríos Insua, Jacinto Martín Jiménez.
Ra-Ma., Madrid : (1997)
8478972587

[2] Monte Carlo :concepts, algorithms, and applications /

George S. Fishman.
Springer., New York : (1996)
038794527X (acid-free paper)

[3] Monte Carlo methods /

J.M. Hammersley, D.C. Handscomb.
Chapman., New York : (1964) - (1st ed.)
0412158701

[4] Genetic algorithms and engineering design /

Mitsuo Gen, Runwei Cheng.
John Wiley & Sons., New York : (1996)
0471127418

[5] A course in simulation /

Sheldon M. Ross.
, MacMillan, (1990)
0024038911

Equipo Docente

GABRIEL WINTER ALTHAUS

(RESPONSABLE DE PRACTICAS)

Categoría: CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

Departamento: MATEMÁTICAS

Teléfono: 928451925 **Correo Electrónico:** gabriel.winter@ulpgc.es

PEDRO DAMIÁN CUESTA MORENO

(COORDINADOR)

Categoría: *TITULAR DE UNIVERSIDAD*

Departamento: *MATEMÁTICAS*

Teléfono: *928458829* **Correo Electrónico:** *pedrodamian.cuesta@ulpgc.es*