

# Plan de Estudio Doctorado en Ingeniería

## Mención: Recursos Hídricos

### MATEMÁTICA APLICADA

#### Objetivos

El objetivo central del curso es poner en contacto a los alumnos con las ecuaciones diferenciales, que constituyen el tipo de ecuación fundamental en que resultan numerosos modelos de la Física, Química, Biología, etc. Se pretende que los alumnos conozcan el comportamiento cualitativo de las soluciones de las ecuaciones diferenciales, tanto ordinarias, como en derivadas parciales, siendo capaces de determinarlo dependiendo del tipo de ecuación (elíptica, parabólica, hiperbólica). También se pretende que los alumnos se familiaricen con algunos métodos analíticos de resolución, que en algunas circunstancias permiten hallar formas cerradas de las mismas, y en otras permiten obtener conclusiones acerca de su comportamiento cualitativo. El programa que se propone está diseñado de modo que modelización, teoría y métodos de resolución participen de manera balanceada en el desarrollo del curso.

#### Programa sintético

Repaso de los teoremas de la divergencia y del rotor y rudimentos de la teoría de potencial. Modelos matemáticos. Leyes de conservación. Relaciones constitutivas. Transporte. Difusión. La ecuación del calor y la de Laplace. La ecuación de ondas. Ecuaciones en derivadas parciales de primer orden. Aplicaciones. La ecuación del calor. Problemas con condición inicial y condiciones de borde. Separación de variables. Principio de máximo y unicidad. Condiciones de borde independientes del tiempo. Estado estacionario. Condiciones de borde dependientes del tiempo, el Teorema de Duhamel. Series de Fourier. Transformada de Fourier. Transformada de Laplace. Aplicaciones a EDP en dominios infinitos. Problema de Sturm-Liouville. Separación de variables para ecuaciones del calor, Laplace y ondas en dimensiones superiores. Funciones especiales. Coordenadas generalizadas. Función de Green.

#### Conocimientos previos requeridos

Matemática de grado.

**Carga horaria:** Teoría: 60 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 30 horas. Total: 90 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** trabajos prácticos, 2 exámenes parciales y examen final.

## **Bibliografía básica**

- Arfken G.B., Weber H.J., "Mathematical Methods For Physicists", HARCOUT-Academic Press, 2001.
- Bleecker D., Csordas G., "Basic Partial Differential Equations", International Press, Cambridge, Massachusetts, 1996.
- Courant R., Hilbert D., "Methods of Mathematical Physics", Vols. I y II, John Wiley and Sons, 1953.
- Haberman R., "Elementary Applied Partial Differential Equations", Prentice Hall, Upper Saddle Rver, NJ, 1998.
- Larsson S., Thomée V., "Partial Differential Equations with Numerical Methods", Springer, 2009.
- Logan J. D. "Applied Partial Differential Equations", Springer, New York, 2004.

# MECÁNICA DE FLUIDOS

## Objetivos

El curso está orientado a proveer una base común de transferencia de cantidad de movimiento para alumnos provenientes de distintas carreras de ingeniería. El núcleo del curso reside en el estudio de flujos de fluidos Newtonianos. La ecuación de Navier- Stokes es analizada en detalle, en particular, los casos límite de bajos y altos números de Reynolds que se traducen en flujos reptantes por un lado, y por el otro, en flujo potencial (solución externa) y capa límite (solución interna). Se enfatizan los principios gobernantes más que la práctica ingenieril, sin embargo, también se hace uso de balances macroscópicos para obtener soluciones aproximadas.

## Programa sintético

Principios de mecánica. Sistemas aislados y no aislados. Sistemas no inerciales. Estática de fluidos. Tensión superficial. Ecuaciones de transporte. Teorema del transporte. Ecuaciones diferenciales e integrales. Tensor de tensiones y tensor de deformaciones. Ecuación del movimiento. Fluido Newtoniano. Ecuación de Navier Stokes. Vorticidad. Flujo irrotacional. Ecuaciones de la energía y entropía. Adimensionalización de las ecuaciones de Navier Stokes. Casos particulares y números adimensionales significativos. Flujos viscosos y flujos a altos números de Reynolds. Flujos unidireccionales. Soluciones de similaridad. Flujos cuasi unidireccionales. Flujos alrededor de cuerpos sumergidos. Capa límite laminar. Solución de Blasius. Método de Karman y Pholhausen. Capa límite turbulenta. Ondas superficiales. Teoría de ondas de pequeña amplitud. Trayectoria de partículas. Aproximación de aguas poco profundas.

## Conocimientos previos requeridos

Mecánica de fluidos de grado.

**Carga horaria:** Teoría: 60 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 30 horas. Total: 90 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 1 examen parcial y examen final.

## Bibliografía básica

Batchelor G. K., "An Introduction to Fluid Dynamics", Cambridge University Press, 1972.

Schlichting H., "Boundary layer Theory", Mc. Graw - Hill, 1979.

Slattery J. C., "Momentum, Energy and Mass Transfer in Continua", Mc Graw- Hill, 1972.

Whitaker S., "Introduction to Fluid Mechanics", Krieger Publishing Company, Prentice Hall, 1968.

White F. M., "Viscous - Fluid Flow", Mc Graw- Hill, 1974.



# INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

## Objetivos

Conocer las bases matemáticas del método de los elementos finitos para problemas de campos escalares (térmicos, difusión, flujo potencial) y vectoriales (ecuaciones de elasticidad), así como comprender los aspectos prácticos de programación involucrados en el mismo.

## Programa sintético

Introducción al MEF para problemas elípticos. Formulación variacional para un problema modelo unidimensional. MEF para problema modelo con funciones lineales por tramos. Estimación de error para MEF para el problema modelo. MEF para la ecuación de Poisson. Espacios de Hilbert. Interpretación geométrica del MEF. Problema de Neumann. Condiciones de borde naturales y esenciales. Formulación abstracta del MEF para problemas elípticos. Problema continuo. Discretización. Estimación de error. Norma energía. Ejemplos. Algunos espacios de elementos finitos. Requerimientos de regularidad. Ejemplos de elementos finitos.

Teoría de aproximación para el MEF. Estimaciones de error para problemas elípticos. Interpolación con funciones lineales por tramos en dos dimensiones. Interpolación con polinomios de grado superior. Estimaciones de error para el MEF en problemas elípticos. Regularidad de la solución exacta. Métodos adaptativos. Una estimación de error en norma  $L_2$ . Aplicaciones para problemas elípticos. Problema de elasticidad. Problema de Stokes. Problema de flexión de placas. Elementos finitos curvos e integración numérica. MEF para problemas parabólicos. Problema modelo unidimensional. Semidiscretización en el espacio. Discretización en espacio y tiempo. Métodos de diferencias hacia atrás de Euler y Crank-Nicolson. Método de Galerkin discontinuo. Estimaciones de error, control automático del paso de tiempo y del paso espacial. Problemas hiperbólicos. Problema de convección-difusión. Métodos numéricos para problemas hiperbólicos. Método de Galerkin estándar. Difusión artificial clásica. Método de difusión por líneas de corriente. Método de Galerkin discontinuo. Sistemas de Friedrichs. Problemas no lineales.

## Conocimientos previos requeridos

Álgebra matricial. Conocimientos básicos de computación y mecánica del continuo.

**Carga horaria:** Teoría. 60 horas. Coloquio y/o Práctica en el aula o laboratorio: 15 horas. Total: 75 horas

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 1 examen parcial y examen final.

## Bibliografía básica

Bathe K.J. y Wilson E.L., "Numerical methods in finite element analysis", Prentice-Hall, 1976.

Hughes T.J.R., "The finite element method", Prentice-Hall Int. Editions, 1987.  
Johnson C., "Numerical solution of partial differential equations by the finite element method", Cambridge University Press, 1995.  
Zienkiewicz O.C. y Taylor R.L., "The finite element method", 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2000.

# HIDRODINÁMICA DE CUERPOS DE AGUA

## Objetivos

El curso introduce los conceptos básicos que rigen el flujo a superficie libre en canales naturales y/o artificiales. Para ello se examinan los principios que rigen el movimiento de un fluido incompresible, empezando con las ecuaciones de Navier-Stokes hasta llegar a la simplificación de Saint Venant, pasando por la promediación de Reynolds de un flujo turbulento. Parte de la teoría es acompañada con ensayos prácticos en canales de laboratorio, con el propósito de lograr una adecuada transferencia de la teoría a la práctica.

## Programa sintético

Introducción: Motivación del Curso: Fenómenos de Transporte, Dispersión de un Poluente en un Río, Transporte de Vorticidad, Contaminación Ambiental, Transporte de Solutos en Agua Subterránea. Breve repaso de conceptos básicos de la mecánica de fluidos: Tensores cartesianos. Cinemática de los fluidos, Teorema del transporte, Leyes de conservación, Las ecuaciones de Navier-Stokes, Escalas, Adimensionalización de las ecuaciones de movimiento, Semejanza geométrica, Cinemática y dinámica, Función de corriente, Interpretación física del concepto de circulación y vorticidad, Teorema de Helmholtz, Teorema de Stokes, Ecuación de Bernoulli, Dinámica de la vorticidad 2D y 3D, Familia de flujos simples. Flujos turbulentos en canales abiertos (2D): Conceptos básicos, Ecuaciones promediadas en el sentido de Reynolds, Turbulencia isotrópica y homogénea 2D, Velocidad de corte, Distribución vertical de tensiones totales, Consideración de lechos hidrodinámicos lisos y rugosos, Resistencia hidráulica, Concepto de longitud de mezcla, Distribución vertical del gradiente de velocidades, Ley de la pared, Viscosidad de remolino de Engelund-Hansen. Física elemental de ondas de superficie: Teoría lineal de ondas de pequeña amplitud motorizadas por gravedad, Condiciones de borde para un flujo irrotacional no viscoso, Escalas, Relación de dispersión, Función de fase 2D, Conservación del número de ondas, Ondas hiperbólicas y difusivas, Ondas dispersivas, Concepto cinemático de la celeridad de un grupo de ondas, Variación continua de la frecuencia, Método de la fase estacionaria. Aproximación de ondas largas: Aproximación hidrostática de aguas poco profundas, Condiciones de borde, Tensor de tensiones laterales medias, Soluciones exactas, Expansión singular de Stokes, Cuadro comparativo entre ambas teorías (lineal y no-lineal), Teoría de ondas cinemáticas, Condiciones de Rankine-Hugoniot, Invariantes de Riemann, Resalto hidráulico, Problemas físicos con muchas escalas de longitud, Implicancia de la presencia de pequeños parámetros en las ecuaciones de gobierno (breve noción del método de las perturbaciones).

Laboratorio: i) medición en canal de ensayo con ADV-Acoustic Doppler Velocimeter, ii) medición de la deflexión de la superficie libre de un fluido en rotación uniforme, iii) medición y cálculo de la posición de la superficie libre ante la presencia de obstáculos en el lecho (curvas de remanso). Prácticas de laboratorio: a) determinación de parámetros estadísticos en un flujo turbulento 2D, b) cálculo de la deflexión de la superficie libre en rotación uniforme, c) determinación de curvas de remanso en canal de ensayo.

## **Conocimientos previos requeridos**

Hidrodinámica de grado. Lenguajes de programación.

**Carga horaria:** Teoría: 48 horas. Coloquio y/o Práctica en el aula o laboratorio: 12 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 1 examen parcial y examen final. Resolución de problemas. Prácticas de laboratorio.

## **Bibliografía básica**

Batchelor G. K., "An Introduction to Fluid Dynamic", Cambridge Univ. Press, 1967.

Stoker J. J., "Water Waves: The Mathematical Theory with Applications", Interscience, 1957.

Vreugdenhil C. B., "Numerical Methods for Shallow-water Flow", Kluwer Academic Pub., 1998.

Witham G. B., "Linear and Nonlinear Waves", Interscience, 1974.



# **CÁLCULO CIENTÍFICO CON COMPUTADORAS PARALELAS**

## **Objetivos**

El objetivo del curso es brindar una introducción al uso de computadoras paralelas en cálculos científicos. Se considera la codificación o adaptación de algoritmos para procesamiento en paralelo, teniendo en cuenta las diferentes arquitecturas de computadoras paralelas. Se hace énfasis en el trabajo tanto en redes de computadoras (computadoras personales o estaciones de trabajo) como en los denominados clusters de procesadores (grupos de microprocesadores interconectados que pueden ser utilizados como una computadora paralela), ambas opciones disponibles en la Universidad Nacional del Litoral. Se prevén aplicaciones orientadas a problemas de la mecánica estructural y de fluidos.

## **Programa sintético**

Introducción. Motivación. Desafíos actuales en necesidad de cálculo científico. Evolución de las supercomputadoras. Cálculo paralelo. Arquitectura de computadoras paralelas. Criterios de clasificación y taxonomía. Medidas de velocidad de procesamiento. Velocidad de procesamiento. Patrones de comparación (benchmarks). Optimización. Vectorización. Procesadores vectoriales. Programación de computadoras vectoriales. Análisis de algoritmos. Grafos. Análisis de algoritmos secuenciales. Análisis de algoritmos paralelos. Modelos y estrategias de paralelización. Niveles de paralelismo. Modelos de programación paralela. Estrategias de paralelización. Reordenamiento de las variables. Descomposición del dominio. Problemas de proyección en computadoras masivas. Diseño de programas paralelos. Programación en el modelo de memoria compartida. Procesos. Mecanismos de coordinación. Dependencia entre los datos. Granularidad y equilibrio de las tareas. Programación en paralelo en el paradigma de memoria compartida. HPF (High Performance Fortran). OMP. Programación en el modelo de memoria local. Comunicación y granularidad. Programas host-node. Programación en paralelo en el paradigma de intercambios de mensajes: PVM (Parallel Virtual Machine) y MPI (Message-Passing Interface), paquetes con "fuentes abiertos" (open source). Eficiencia de programas paralelos. Speedup y eficiencia. Ley de Amdahl. Factores que influyen en la eficiencia. Sobrecargas por comunicación y coordinación. Fracciones no paralelizables. Redundancia. Desbalanceo. Algoritmos paralelos para álgebra lineal. Bibliotecas de procedimientos para álgebra lineal: caso del ScaLAPACK (open source). Programas paralelos para operaciones matriciales. Otras herramientas (PETSc). Métodos directos de resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas lineales. Programación paralela de métodos directos para sistemas de ecuaciones lineales. Sistemas triangulares. Factorización LU. Métodos iterativos de resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas lineales. Métodos iterativos para sistemas de ecuaciones lineales. Método de gradiente conjugado preconditionado. Programación paralela. Métodos de descomposición del dominio. Métodos de descomposición del dominio. Complemento de Schur. Aplicación a la resolución de problemas de elementos finitos. Método del complemento de Schur dual. Estrategias para descomponer el dominio en subdominios. Criterios de optimización. Paralelización en programas de elementos finitos. Estructura de un programa de elementos finitos. Tareas desacopladas, débilmente acopladas

y fuertemente acopladas. Paralelización de programas secuenciales. Escritura de programas paralelos. Programa PETSc-FEM.

### **Conocimientos previos requeridos**

Se requieren conocimientos previos sobre cálculo numérico y programación con algún lenguaje científico (FORTRAN, C,C++). Algunas de las aplicaciones están pensadas para estudiar problemas de mecánica de sólidos o fluidos mediante el método de los elementos finitos, por lo que sería deseable además algún conocimiento sobre este método.

**Carga horaria:** Teoría: 60 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 15 horas. Total: 75 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 2 exámenes parciales y examen final.

### **Bibliografía básica**

Buyya R. (ed.), "High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems", Vol.1 y 2, Prentice Hall PTR, NJ, USA, 1999.

<http://www.csse.monash.edu.au/~rajkumar/cluster/index.html>

Deghilage G., "Architectures et Programmation Parallèles", Addison-Wesley, Paris, 1992.

⊃ J.J. Dongarra, Performance of various computers using standard linear equation solvers. <http://www.netlib.org/benchmark/performance.ps>

⊃ Dongarra J., Duff I., Sorensen D. and Van der Vorst H., "Numerical Linear Algebra for High-Performance Computers", SIAM Publication, Philadelphia PA, 1998.

Farhat Ch., "An Introduction to Parallel Scientific Computations", University of Liège, Belgium, 1991.

⊃ Foster I., "Designing and Building Parallel Programs", <http://www.mcs.anl.gov/dbpp/>, on line.

Fox G., Williams R., and Messina P., "Parallel Computing Works", <http://www.npac.syr.edu/copywrite/pcw/>, on line, 1994.

Geist et al., "PVM 3 User's Guide and Reference Manual", Rep. ORNL/TM-12187, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee USA, 1993. En <http://www.netlib.org/pvm3/>

Golub G. and Van Loan Ch.F., "Matrix Computations", John Hopkins Univ. Press, 1991.

Gropp W., Lusk E. and Skjellum A., "Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message- Passing Interface", The MIT Press, Cambridge, 1999.

Koelbel C.H., Loveman D.B., Schreiber R.S., Steele G.L., Zosel M.E., "The High Performance Fortran Handbook", The MIT Press, 1997.

OpenMP Fortran (version 2.0, November 2000) y OpenMP C/C++ (version 2.0, November 2001) especificaciones, <http://www.openmp.org/specs/>

Papadrakakis M. (ed.), "Parallel Solution Methods in Computational Mechanics", J.Wiley and Sons, Chichester, 1997.

⊃ Sterling T.L., Salmon J., Becker D.J. and Savarese D.F., "How to build a Beowulf", The MIT Press, Cambridge, 1999.

Storti M. A. et al, "PETSc-FEM: A General Purpose, Parallel, Multi-Physics FEM Program", <http://minerva.arcrde.edu.ar/PETSc-FEM/>, on line.

=Succi S. and Papetti F., "An introduction to parallel computational fluid dynamics", Nova Science Publ., New York, 1996.  
Adaptor 12.0 Parallel Fortran Compilation System.

# MÉTODOS NUMERICOS EN FENOMENOS DE TRANSPORTE

## Objetivos

Introducción de los métodos numéricos para resolver diferentes problemas de transporte de masa, cantidad de movimiento y energía. El enfoque será centrado hacia temas de índole numérico donde la necesidad de una estabilización espacial amerita tal aproximación. La primera parte del curso será aplicada al caso de transporte de escalares mientras que la parte final se orientará hacia campos vectoriales como el de la fluidodinámica. La aproximación numérica a presentar será la de volúmenes finitos y elementos finitos.

## Programa sintético

Introducción a los modelos matemáticos de las ecuaciones de transporte. Discretización por volúmenes finitos. Discretización por elementos finitos. Aplicación a la resolución de problemas escalares lineales, transporte de energía o de contaminantes. Aplicación a la resolución de problemas escalares no lineales, modelo de Burgers como una primera aproximación a las ecuaciones de la mecánica de fluidos. Aplicación a la resolución de problemas vectoriales lineales, ecuaciones de la acústica, modelo de aguas poco profundas y sistemas multicomponentes. Aplicación a la resolución de problemas vectoriales no lineales. Ecuaciones de dinámica de gases, Euler, Navier-Stokes.

## Conocimientos previos requeridos

Cálculo numérico y mecánica de fluidos. Recomendable algún curso sobre fenómenos de transporte, transferencia de masa o de energía.

**Carga horaria:** Teoría. 30 h. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 30 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 2 exámenes parciales y examen final.

## Bibliografía básica

- Donea J. y Huerta A., "Finite Element Methods for Flow Problems", John Wiley & Sons, 2003.
- Hirsch C., "Numerical Computation of Internal and External Flows", John Wiley & Sons, 2007.
- Leveque R., "Finite Volume Methods for hyperbolic Problems". Cambridge University Press, 2002

# MÉTODOS ITERATIVOS PARA LA SOLUCIÓN DE GRANDES SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES Y NO LINEALES

## Objetivos

El objetivo de este curso es brindar al estudiante de posgrado una base matemática e informática en lo que respecta a la solución de grandes sistemas de ecuaciones lineales y no lineales que provienen, generalmente, de la discretización de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Se presentarán las bases matemáticas necesarias para el estudio de convergencia, estabilidad y precisión de métodos iterativos que son de uso extensivo por la comunidad científica para la solución de grandes sistemas de ecuaciones; como así también, se darán detalles de la implementación de estos algoritmos en plataformas de cálculo secuenciales y paralelas con el posterior análisis de su desempeño. Se abordarán temas de constante estudio y desarrollo como lo es el método de Descomposición de Dominios y su preconditionamiento. La idea del curso es también la de usar y evaluar la performance de los métodos iterativos dentro del contexto de la Mecánica Computacional.

## Programa sintético

Conceptos Básicos y Métodos Iterativos Estacionarios. Revisión y notación. El lema Banach e inversas aproximadas. El radio espectral. Métodos iterativos estacionarios clásicos. Ejercicios. Método Iterativo de los Gradientes Conjugados (CG). Métodos de Krylov y la propiedad de minimización. Consecuencias de la propiedad de minimización. Criterios de terminación de la iteración. Implementación. Precondicionamiento. Métodos CGNR y CGNE. Ejemplos del método de CG con preconditionamiento. Ejercicios. Iteración de GMRES. La propiedad de minimización y sus consecuencias. Criterios de terminación de la iteración. Precondicionamiento. Implementación de GMRES: ideas básicas. Implementación en una base ortogonal. Colapso de GMRES (Breakdown). El algoritmo de Gram-Schmidt modificado. Una Implementación eficiente. Estrategias de reortogonalización. Restart. Ejemplos para el método de GMRES. Ejercicios. Conceptos Básicos en Iteración de Punto Fijo. Tipos de convergencia. Iteración de punto fijo. Hipótesis estándares. Método de Newton. Convergencia local del método de Newton. Criterios de terminación de la iteración. Implementación del método de Newton. Errores en la función y en su derivada. El Método de Descomposición de dominios. Condicionamiento del problema de interfase. Análisis de Fourier. Problema de Poisson. Problema de Advección-Difusión. Resolución en Plataformas Paralelas de Problemas Lineales y No Lineales usando PETSc. Introducción a la Librería PETSc. Resolución de la Ecuación de Laplace. Resolución de la Ecuación de Advección-Difusión. Resolución de Problemas No Lineales.

## Conocimientos previos requeridos

Nociones básicas de Matemática y Álgebra Lineal. Conocimiento de lenguajes de programación como C/C++ y/o Matlab/Octave.

**Carga horaria:** Teoría. 60 h. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 15 horas. Total: 75 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 3 exámenes parciales y examen final.

**Bibliografía básica**

Golub G., Van Loan Ch. F., "Matrix Computations", John Hopkins Univ. Press, 1991.

Kelley C. T., "Iterative Methods for Linear and Nonlinear Equations". Frontiers in Applied Mathematics, vol. 16. SIAM: Philadelphia, PA, 1995.

Papadrakakis M. (ed.), "Parallel Solution Methods in Computational Mechanics", John Wiley & Sons, Chichester, 1997.

Storti M.A., "Métodos Iterativos para la Solución de Problemas Lineales y No-Lineales". Universidad Nacional del Litoral - CONICET. 2002.

Van der Borst H., "Iterative Methods for Large Linear Systems". Mathematical Institute, Utrech University. The Netherlands, 2000.

# METODOS NUMERICOS EN MECANICA DE FLUIDOS

## Objetivos

Brindar las herramientas mínimas necesarias para poder usar y desarrollar software relacionado con la resolución de una gran variedad de modelos matemáticos muy usados en la Mecánica de Fluidos, en especial en situaciones donde existe flujo de fluidos incompresibles y compresibles, laminares y turbulentos, viscosos e invíscidos, estacionarios y transitorios en dominios unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales. Dotar al alumno de conocimientos para poder analizar los modelos matemáticos más usados en la simulación computacional de la mecánica de fluidos. Enseñar a usar software para resolver problemas académicos con especial énfasis en la introducción de parámetros, condiciones de contorno y condiciones iniciales.

## Programa sintético

Modelos numéricos en sistemas advectivos difusivos generales. El caso de flujo compresible y shallow-water. Modelos numéricos en flujo incompresible. Modelado numérico de la turbulencia.

## Conocimientos previos requeridos

Mecánica de fluidos. Cálculo numérico.

**Carga horaria:** Teoría. 30 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 30 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 2 exámenes parciales y examen final.

## Bibliografía básica

Ferziger J. and Peric M., "Computational Methods for fluid dynamics". Ed. Springer 1996.

Hirsch C., "Numerical Computation of Internal and External Flows", John Wiley & Sons, 2007.

Hoffmann K. and Chiang S., "Computational Fluid Dynamics Volume I y II", Engineering Education System, 2000.

Laney C. B., "Computational Gas Dynamics", Cambridge University Press, 1998.

Wilcox D.C., "Turbulence Modeling for CFD", DCW Industries Inc., 2004.

# **PROGRAMACIÓN / COMPUTACIÓN CIENTÍFICA CON FORTRAN 95**

## **Objetivos**

Fortran 95 es un lenguaje sumamente eficiente para la modelación matemática, y a pesar de no estar totalmente orientado a objetos, incluye y soporta una cantidad de atributos que hacen factible abarcar dicho paradigma de la programación moderna (que ya forma parte del nuevo estándar F2003). El curso introduce al alumno al uso de conceptos básicos de la programación científica utilizando la nueva sintaxis del F95. En la 1ra parte se estudian ejemplos básicos destinados a presentar la funcionalidad esencial del lenguaje. En la 2da parte se resuelven problemas prácticos del continuo y del análisis numérico para que el alumno incorpore el esquema de resolución de un problema técnico específico mediante el planteo y diseño de un algoritmo, su programación acorde a la sintaxis requerida por el F95, la compilación con rutinas científicas y la generación e interpretación de los resultados. En esta última parte, se desarrolla el concepto de error numérico, estabilidad, convergencia, etc. Se provee un compilador para la realización de los trabajos prácticos en gabinete de informática, y los exámenes parcial y final están concebidos para que el alumno demuestre, a tiempo real, su habilidad en el uso y manejo del lenguaje.

## **Programa sintético**

Aspectos de Programación / Fortran 95 Esencial. Introducción: Acerca del curso. Bibliografía. Un poco de historia. Rasgos salientes de F95. Compiladores F95 disponibles (gratuitos y comerciales). Elementos de F95: Tipos de datos intrínsecos y derivados (definidos por el usuario), Cadenas de caracteres, Arreglos. Estructura del programa principal, Unidades de programas y procedimientos, Subrutinas y funciones, Interfaces (explícitas e implícitas), Uso de módulos en reemplazo de interfaces. El concepto de "module" y "use". Funciones intrínsecas size, shape, maxloc, maxval, minloc, minval, count, sum, etc. Sobrecarga de operadores (polimorfismos). Sentencias de control (if, case, do, do while, cycle, etc). Arreglos de orden cero y superiores, constructores de arreglos. Asignación dinámica de arreglos allocate & deallocate). Punteros. Operaciones con índices en F95. Sintaxis matricial con un estilo cuasi Octave/Matlab. Construcción Where ... Else. Diferencias entre las instrucciones Do y Forall. Computación Científica. Aproximación e interpolación de funciones, matrices en diferencias, clasificación de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, problemas de valores iniciales y de contorno, solución por diferencias finitas, problemas de autovalores y autovectores, solución de la ecuación de difusión 1D por elementos finitos, advección-difusión estacionaria 1D.

## **Conocimientos previos requeridos**

Familiaridad con PCs, y con Análisis Numérico (no excluyente).

**Carga horaria:** Teoría: 45 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 45 horas. Total: 90 horas.

**Duración:** 15 semanas.



**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 1 examen parcial y examen final.

### **Bibliografía básica**

Decyk V, "Scientific Computing with Fortran 95", PSTI Research Lecture Series, UCLA, USA, 2002.

D'Elía J., "Fortran 95", notas de clase, 2005.

Metcalf M., Reid J., Cohen M., "Fortran 95/2003 explained", Oxford University Press, 2004.

Metcalf M., Reid J., "Fortran 90/95 explained", Oxford Science Publications, 1996.

Redwine C, "Upgrading to Fortran 90", Springer, 1995.

Trefethen L., Spectral methods in MATLAB, SIAM, 2001.

# **TELEDETECCIÓN: APLICACIÓN A LA HIDROLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

## **Objetivos**

Que los alumnos comprendan los principios básicos de adquisición de datos en forma remota mediante el uso de tecnología satelital. Esta última conforma una herramienta moderna de obtención de información que contribuye a un mayor conocimiento de los ecosistemas terrestres y marinos. Los objetivos específicos de este curso son que el alumno comprenda: a) los elementos básicos de una imagen, b) los principios de las ondas electromagnéticas y los sensores satelitales, c) el tipo de información de la superficie terrestre que puede extraerse de una imagen óptica y d) las ventajas y desventajas de este tipo de fuente de datos.

## **Programa sintético**

Introducción a la Teledetección: Breve historia del desarrollo de la teledetección. Conceptos generales. Radiación electromagnética y procesos de propagación. Interacción con la atmósfera. Componentes de un proceso de teledetección satelital. Aplicaciones de la teledetección satelital. Radiación electromagnética: Frecuencias, Longitud de onda. Rayos gamma, X, Ultravioleta, Visibles, infrarrojos, térmicos, microondas y Radio. Interacciones electromagnéticas. Diferentes plataformas. Tipos de satélites. Tipos de sensores. satélites operativos al presente. Interpretación de Imágenes: Elementos de una imagen. Imágenes de una sola banda y combinación de múltiples bandas. Resolución de una imagen (espectral, radiométrica, espacial, temporal). Procesamiento de Imágenes satelitales: Corrección geométrica y radiométrica. Clasificación y análisis. Re-muestreo de imágenes. Filtrado de imágenes. Índices de Vegetación: Principios físicos. Estructura foliar y curva de reflexión de energía. Índices de vegetación. Temperatura: Ley de los cuerpos negros de Planck. Ley de desplazamiento de Wien y efectos de la emisividad. Métodos para obtener la temperatura de superficie. Aplicación a la Hidrología: Combinación de los Índices de Vegetación y la Temperatura: Estimación de la evapotranspiración, déficit hídrico, balance de energía.

## **Conocimientos previos requeridos**

No se requieren conocimientos previos.

**Carga horaria:** Teoría: 30 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 15 horas. Total: 45 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 2 exámenes parciales y examen final.

## **Bibliografía básica**

Bisht G., Venturini V., Islam S. and Jiang L., (2005) "Estimation of the Net Radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Terra Data for clear sky days". Remote Sensing of

- Environment.
- Campbell J. B., "Introduction to Remote Sensing". Segunda edición. The Guilford Press. New York - London, 1996.
- Chuvienco E., "Fundamentos de Teledetección Espacial". 3° Ed. Revisada. Ediciones Rialp, Madrid, 1996. 568pgs.
- Eichinger W. E., Parlange M. B. and Stricker H., "On the concept of equilibrium evaporation and the value of the Priestley-Taylor coefficient". *Water Resources Research*, 32 (1), 161-164, 1996.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X. & Ferreira L. G., "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Remote Sensing of Environment*, 85, 328-328, 2002.
- Jensen J. R., "Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective". Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 2000.
- Jiang L. & Islam S., "Estimation of surface evaporation map over southern Great Plains using remote sensing data", *Water Resources Research*, 37(2), 329-340, 2001.
- Monteith J. L. & Unsworth M., "Principles of Environmental Physics". Butterworth-Heinemann, 2nd edition. Burlington-MA, 1990.
- Rees W. G., "Physical Principles of Remote Sensing". Cambridge University Press, 2nd edition. Cambridge-UK, 2001.
- Trishchenko A., Cihlar J., & Li Z, "Effects of spectral function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors". *Remote Sensing of Environment*, 81, 1-18, 2002.
- Venturini V., Bisht G., Islam S. y Jiang L., "Comparison of evaporative fractions estimated from AVHRR and MODIS sensors over South Florida". *Remote Sensing of Environment*, 93, 77-86, 2004.
- Venturini V., Islam S., and Rodriguez L., "Estimation of evaporative Fraction and Evapotranspiration from MODIS products using a complementary based model". *Remote Sensing of Environment*. doi:10.1016/j.rse.2007.04.014, 2007.

# HIDRÁULICA DE CANALES

## Objetivos

Que los alumnos comprendan la formulación conceptual, matemática y aplicada del escurrimiento unidireccional en canales abiertos. Que sea capaz de resolver aspectos prácticos de flujos uniformes y de curvas de remanso en flujos gradualmente variados.

## Programa sintético

Introducción: Escurrimiento en Canales. Principios Básicos. Flujo permanente y no permanente. Gradual y rápidamente variado. Flujo uniforme. Ecuaciones del Escurrimiento Unidireccional en Canales. Hipótesis. Formulaciones integral y diferencial. Ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento. Análisis dimensional y linealización de las ecuaciones de Saint Venant. Ecuaciones de onda difusiva y onda cinemática. Ecuación de conservación de energía. Principio de Energía en Canales: Energía en canales abiertos. Energía específica. Criterio. Definición de tirante crítico. Interpretación de fenómenos locales. Tirantes alternos. Curva de Koch. Caída hidráulica. Resalto hidráulico. Principio de Cantidad de Movimiento: Fórmulas para su definición. Ecuación de cantidad de movimiento. Fuerza específica. Alturas conjugadas. Tirante crítico. Cálculo del resalto hidráulico en canales horizontales. Longitud y localización del salto. Canales inclinados. Flujo crítico: Características del régimen crítico. Pendiente crítica. Parámetros especiales. Factor de sección crítica. Flujo de sección crítica. Cálculo del tirante crítico por métodos algebraicos, gráficos y numéricos. Secciones de control. Flujo uniforme: Cálculo de canales en régimen permanente uniforme. Fórmula de Manning. Fórmula de Chezy. Rugosidad superficial. Factores para calcular la rugosidad. Fórmula de Cowan. Rugosidad en secciones compuestas. Secciones transversales compuestas. Cálculo del tirante normal por métodos algebraicos, gráficos y numéricos. Secciones de control. Flujo estacionario variado Curvas de remanso. Fórmulas para el cálculo de curvas de remanso. Análisis de las curvas. Pendientes positiva, crítica, horizontal y adversa. Cálculo de tirantes en canales con ancho variable. Transiciones verticales. Implementación del sistema computacional Hec-Ras v4.0. Introducción. Representación de escurrimientos estacionarios y no estacionarios con geometrías regulares e irregulares, obras civiles y confluencias.

## Conocimientos previos requeridos

Mecánica de Fluidos.

**Carga horaria:** Teoría: 35 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 25 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 1 examen parcial y examen final.

## Bibliografía básica

- Cunge J. A., Holly F. M. and Verwey A., "Practical Aspects of Computational River Hydraulics", Pitman, London, 1980.
- Chanson H., "Environmental Hydraulics of open channel flows", Elsevier, 2004.
- Chow V. T., "Hidráulica de los Canales Abiertos", Ed. Diana, México, 1986.
- Chow V. T., Maidment D. R., Mays, L. W., "Hidrología Aplicada", Ed. McGraw-Hill, Colombia, 1994.
- French R. H., "Hidráulica de Canales Abiertos", McGraw-Hill, México, 1988.
- Henderson F. M., "Open Channel Flow", Macmillan, 1966.
- Pujol A. y Menendez A., "Análisis Unidimensional de Escurrimiento en Canales", Eudeba, 1987.
- Sturm T., "Open Channel Hydraulics", McGraw-Hill, New York, 2001.
- U.S. Army Corps of Engineers, "HEC-RAS River Analysis System, User's Manual", 2008. (<http://www.wrc-hec.usace.army.mil/>)

# **MODELACIÓN NUMÉRICA DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA**

## **Objetivos**

El objetivo del curso es iniciar a los participantes en el manejo de herramientas numéricas de modelación del flujo subterráneo, con especial énfasis en la aplicación práctica. Para ello, se ha estructurado el curso de forma que el alumno pueda adquirir, en un corto período, un manejo razonable de cualquier programa de simulación.

## **Programa sintético**

Introducción y generalidades. La modelación numérica. El proceso de modelación. Utilidad de los modelos. Métodos generales de resolución de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales: diferencias finitas, diferencias finitas integradas, elementos finitos y elementos de contorno. La ecuación de flujo. Solución de la ecuación de flujo por diferencias finitas. Esquema de diferencias finitas. Derivación formal. Derivación por balance de masas. Integración temporal. Esquemas explícito e implícito. Crack-Nicolson. Comparación. Estabilidad. Análisis de Von Neumann. Análisis intuitivo. Consistencia. Error de truncamiento. Convergencia. Error de convergencia. Teorema de Lax. Condiciones de contorno. Tipos e implementación. Problemas no lineales. Tipos de problemas. Enfoques de solución. Métodos de solución de las ecuaciones lineales y no lineales. Aplicación de los modelos de flujo. Tipos de problemas. Datos necesarios para la modelación. Limitaciones de los modelos. Tipos de errores. El proceso de modelación. Conceptualización. Discretización. Estructura del modelo. Calibración. Verificación. El proceso de modelación. Análisis de sensibilidad. Simulación. Análisis de errores. Discusión de hipótesis. Estudio de casos reales. Introducción a los problemas de transporte. Ecuación de transporte: ecuación de advección dispersión. Casos particulares. Seguimiento de partículas. Definición de zonas de capturas. Perímetros de protección. Descripción de los códigos MODFLOW-MODPATH. Discretizaciones. Condiciones de contorno. Régimen estacionario y transitorio. Seguimiento de partículas. El programa amigable VisualModflow. Varios ejemplos prácticos de modelación.

## **Conocimientos previos requeridos**

**Carga horaria:** Teoría. 24 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 24 horas. Total: 48 horas.

**Duración:** 6 semanas.

**Formas de evaluación:** 1 examen parcial y examen final.

## **Bibliografía básica**

Bear J., "Dynamics of Fluids in Porous Media", Elsevier, New York, 1972.

Davis J. C., "Statistics and Data Analysis in Geology", John Wiley & Sons, New York, 1986.

Deutsch C.V., & Journel A. G., "GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide", Oxford University Press, New York, 1992.

Fetter C.W. "Contaminant hydrogeology". MacMillan, 1993.

- Fetter C.W. "Applied hydrogeology". MacMillan, 1994.
- Freeze R.A. & Cherry J.A., "Groundwater". Prentice Hall, 1979.
- Guiguer N. and Franz T., "Visual Modflow. Version 2.0. The Integrated Modeling Environment for MODFLOW and MODPATH". Waterloo Hydrogeologic Software, 1996.
- Huyakorn P. and Pinder G., "Computational methods in subsurface flow". Academic Press Inc, 1983.
- McDonald M.G. & Harbaugh A.W., "A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model", Techniques of Water Resources Investigations 06-A1, United States Geological Survey, 1988.
- Pollock D.W. 1994. "User's Guide for MODPATH/MODPATH-PLOT. Version 3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the U.S. Geological Survey finite difference groundwater model", U.S. Geological Survey, Open-File Report 94-464, Reston, Virginia, Sept., 1994.
- Prickett, T. and Lonquist C., "Selected digital computer techniques for groundwater resource evaluation". Illinois State Water Survey, Bulletin 55. Traducción de B. López Camacho y Camacho y J. López García, MOP, 1971.
- Wang, H. and Anderson M., "Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods". W H. Freeman, New York, 1982.
- Zheng, C., Wang, P., "MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems". University of Alabama, 1998.
- Periódicos: Environmental Science Technology, Journal of Contaminant Hydrogeology, Groundwater, Journal of Hydrology, Ground Water Monitoring & Remediation, Water Resources Research.

# **BASES FÍSICAS DEL CLIMA**

## **Objetivos**

Brindar a alumnos de posgrado los conocimientos válidos necesarios para realizar el análisis del clima sobre la base del sistema Tierra-Sol.

## **Programa sintético**

Introducción al sistema climático. Atmósfera, Océanos y Superficie Terrestre. Criósfera. Biósfera. Sistema Climático. Composición Atmosférica. Variables atmosféricas. Humedad Atmosférica. Ciclo Hidrológico. Radiación solar. Fundamentos de Radiación para Aplicaciones Atmosféricas. Conceptos, Definiciones y Unidades. Relación astronómica Tierra-Sol. Radiación Térmica. Constante Solar y Distribución Espectral. Radiación Solar Extraterrestre. Albedo y Radiación Terrestre. Balance de energía. Calor y Energía. El Sistema Solar. Balance de Energía en la Tierra. Temperatura de Emisión del Planeta. Efecto Invernadero. Balance Energético del Flujo de Radiación Global. Balance de Energía en el Tope de la Atmósfera. Flujo de Energía Hacia los Polos. Transferencia de energía radiativa y clima. La Naturaleza de la Radiación Electromagnética. Ley de Planck de Emisión de un Cuerpo Negro. Emisión y Absorción Selectiva por los Gases de Invernadero. La Ley de Lambert-Bouguet-Beer: Formulación de Flujo de Absorción. Ecuación de Transferencia de Radiación Infrarroja: Absorción y Emisión. Nubes y Radiación. Balance de energía en la superficie. Balance de energía en la superficie de la Tierra. Almacenamiento de Calor en la Superficie. Calentamiento Radiactivo de la Superficie. Capa Límite Atmosférica. Flujos de Calor Sensible y Calor Latente en la Capa Límite. Variación del Balance de Energía con la Latitud. Variación Diurna del Balance de Energía de Superficie. Variación Estacional del Balance de energía de Areas Terrestres. Flujo de Energía de Superficie Sobre los Océanos. Ciclo hidrológico. Agua: Esencial al Clima y la Vida. El Balance de Agua. Almacenamiento de Agua y Esguerrimiento. Precipitación, Evaporación y Transpiración. Variación Anual del Balance de Agua Terrestre.

## **Conocimientos previos requeridos**

Sólidos conocimientos físico-matemáticos.

**Carga horaria:** Teoría. 45 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 15 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 2 exámenes parciales y examen final.

## **Bibliografía básica**

Essenwanger O. M., World Survey of Climatology, "Vol 1: General climatology", Elsevier, 1985.

García N., "Elementos de Climatología", Colección Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 1994.

Flohn H., World Survey of Climatology, "Vol. 2: General Climatology".



- Elsevier, 1985.
- Iqbal M., "An Introduction to Solar Radiation", Academic Press Canada, Toronto-New York-London, 1983.
- Hartmann D. L., "Global Physical Climatology", Volume 56 in the Internacional Geophysics Series, Edited by Renata Dmowska and James R. Holton. Academia Press, San Diego- New Cork-Boston-London, 1994.
- Henderson-Sellers A. & McGuffie K., "Introducción a los Modelos Climáticos", Editorial Omega, Barcelona, España, 1990.
- Houghton J. T. (ed.). "The Global Climate", Cambridge University Press, UK, 1984.
- OMM-GARP, "The Physical Basis of Climate and Climate Modelling", N° 16, Ginebra, Suiza, 1975.
- Sellers W. D., "Physical Climatology", The University of Chicago Press, Chicago, USA, 1974.
- Trewartha G.T. & Hom L. H., "An Introduction to Climate", International Student Edition, Mc Graw Hill International Book Co., Tokio, 1980.

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN SERIES TEMPORALES

## Objetivos

Brindar a los alumnos las bases necesarias para la aplicación de métodos de análisis espacio-temporales a variables climatológicas. El curso pone énfasis en los métodos de detección de señales en series temporales y en campos espacio-temporales, como así también en el análisis de la variabilidad y predictabilidad de distintas variables. Al mismo tiempo, el curso introduce al alumno en el manejo de bases de datos y lo obliga a modificar y adaptar programas o rutinas FORTRAN para su uso particular.

## Programa sintético

Análisis estadístico básico. Análisis de aleatoriedad- Tests no paramétricos- Tests de correlación seriada- Tests de tendencias- Tests de homogeneidad- Series temporales- dominio de las frecuencias y diseño de filtros. Matrices y álgebra lineal. Operación con matrices- Propiedades de matrices- Determinantes- Desarrollo de Laplace- Espacio vectorial lineal- Ortogonalidad de matrices- Sistemas de ecuaciones lineales- y espacio vectorial- Reducción de Gauss-Jordan- Autovalores y Autovectores- Reducción de una matriz a su forma diagonal.

Análisis por Componentes Principales (ACP). Datos multivariados- Individuos y variables- Formas de la matriz de entrada- Descomposición canónica- Componentes principales- Reconstrucción de datos- Aplicación a series temporales- Interpretación de los resultados del ACP- Rotaciones- Aplicaciones a campos acoplados- APC en campos compuestos espacialmente y temporalmente- APC extendido. Reglas de selección. Definición de ruido- Regla de North- Muestra aleatoria- Método de Monte Carlo- Ensemble estadístico de realizaciones independientes- Aplicaciones. Método de Descomposición por Valores Singulares (SVD). Matriz de covarianzas o correlaciones cruzadas - SVD de campos acoplados- Autovectores derechos e izquierdos- Coeficientes de expansión- Modos de variabilidad. Análisis por Correlación Canónica (CCA). Correlación canónica de campos acoplados- Maximización de la función de correlación- Rango y ortonormalidad- correlaciones canónicas- Representación por componentes canónicas- Formulación de Hotelling. Singular Spectrum Analysis (SSA). Formulación discreta- Matriz de autocovarianzas desplazada en el tiempo- Descomposición en funciones empíricas ortogonales- Oscilaciones y pares oscilatorios- Reconstrucción y aplicaciones de filtrado- Aplicación de Monte Carlos y significancia estadística de los modos de oscilación- Ventajas del SSA frente a otros métodos espectrales tradicionales- Aplicaciones.

## Conocimientos previos requeridos

Matemáticas y programación en FORTRAN.

**Carga horaria:** Teoría. 48 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 24 horas. Total: 72 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 2 exámenes parciales y examen final.

## **Bibliografía básica**

- Arfken G., "Mathematical methods for physicists", Academia Press, New Cork, 1970.
- Byron F. W. and R. W. Fuller, "Mathematical of classical and quantum physics", Vol. I, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, 1969.
- Cotlar M. y C. R de Sadosky, "Introducción al Algebra", Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires , 1962.
- Hildebrand F. B., "Métodos de la matemática aplicada", Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1973.
- Pearson C. E., "Handbook of applied mathematics", Van Nostrand Rinhold Co., New York, 1974.
- Rojo A.O, "Algebra II", El Ateneo, Buenos Aires, 1973.
- Spiegel M. R., "Matemáticas superiores para ingenieros y científicos", Serie de Compendios Schaum, McGraw Hill, México, 1971.

# VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO: ASPECTOS HIDROLÓGICOS

## Objetivos

Brindar argumentos válidos para la aplicación de técnicas estadísticas en climatología e hidrología para generar las bases del análisis climático aplicado, aportando los fundamentos de la predicción climática.

## Programa sintético

Investigación del desarrollo del clima. La naturaleza del estudio del clima. Las grandes controversias. Las grandes oscilaciones planetarias. Los componentes de la investigación climática. Teoría dinámica. Experimentación numérica. análisis estadístico. Abusos del análisis estadístico en la investigación del clima. Introducción. Testeos. Correlación en serie. Conclusiones engañosas. Uso de técnicas no paramétricas. Análisis del clima observado. Introducción. Características espectrales de variables atmosféricas. Modelos climáticos estocásticos. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar. Variabilidad de otras variables de superficie. Cambios climáticos de largo término. Simulación y predicción climática. La simulación de los tipos de tiempo y clima en los GCMS. Comparación entre los climas de los GCMs y los observados. Validez de los resultados. Modelos de análisis. Aplicaciones. Campos de intercomparación. Correlación seriada. Teleconexiones. Análisis de correlaciones canónicas. Aplicaciones climáticas de técnicas espectrales.

## Conocimientos previos requeridos

Métodos estadísticos avanzados y conocimientos en programación FORTRAN.

**Carga horaria:** Teoría. 40 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 20 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 2 exámenes parciales y examen final.

## Bibliografía básica

- Arfken G., "Mathematical methods for physicists", Academia Press, New York, 1970.
- Bloomfield P., "Fourier analysis of time series: an introduction". John Wiley & Sons, New York, 1976.
- Björnsson H. and Venegas S. A., "A manual for EOF and SVD analysis of climate data". McGill University, 1997.
- Byron F. W. and R. W. Fuller, "Mathematical of classical and quantum physics", Vol. I, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, 1969.
- Cotlar M. y de Sadosky C. R., "Introducción al Algebra", Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1962.
- Chatfield C., "The analysis of time series: an introduction", Chapman and Hall, London, 1991.

- Ghill M. and Vautard R., "Interdecadal oscillations and the warming trend in global temperature time series". *Nature*, 350, 324-327, 1991.
- Green P.E. and Carrol J.D., "Analyzing multivariate data". Hinsdale, Illinois. The Dryden Press, 1978.
- Henderson-Sellers A. and McGuffie K., "Introducción a los Modelos Climáticos", Omega, Barcelona, 1987.
- Hildebrand F. B., "Métodos de la matemática aplicada", Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1973.
- Jackson J.E., "A user guide to Principal Components", Wiley Interciences, New York, 1991.
- Cuadras C.M., "Métodos de Análisis Multivariado". EUNIBAR, Barcelona, 1981.
- Panofki H.A. & Brier G.W., "Some applications of statistics to Meteorology". The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 1965.
- Pearson C. E., "Handbook of applied mathematics", Van Nostrand Rinhold Co., New York, ; 1974 .
- Philander S. G., "El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation", Academic Press, San diego, New York, 1989.
- Plaut G. and Vautard R., "Spells of low-frequency oscillations and weather regimes in the Northern hemisphere". *J. Atmos. Sci.*, 51, 210-236, 1994.
- Preisendorfer R. and Mobley C., "Principal component analysis in Meteorology and Oceanography". Elsevier, Amsterdam, 1988.
- Trenberth K. E., "Climate System Modeling", Cambridge University Press, London, UK, 1992.
- Vautard R. and Ghill M., "Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics with applications to paleoclimatic time series". *Physica D*, 35, 395-424, 1989.
- Vautard R., Yiou P. and Ghill M., "Singular spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signals". *Physica D*, 58, 95-126, 1992.
- Venegas S.A., "Statistical methods for signals detection in climate". University of Copenhagen, Denmark, 2001.
- Von Storch. H. & Navarra A., "Analysis of Climate Variability", Springer, Berlin, 1995.
- Von Storch H. & Zwiers F. W., "Statistical Analysis in Atmospheric Sciences". Cambridge University, Press. UK, 1998.
- Wang X.L. and Cho H., "Spatial-temporal structures of trend and oscillatory variabilities of precipitation over Northern Eurasia, *J. Climate* 10: 2285-2298, 1997.

# INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

## Objetivos

Introducir a los alumnos a la geoestadística como disciplina, tanto a través de los desarrollos teóricos que la sustentan como a través del uso de software específico orientado al análisis de problemas prácticos.

## Programa sintético

Introducción. Definición de geoestadística. Campos de aplicación. Software. Conceptos básicos de estadística clásica. Variable aleatoria. Funciones de distribución y densidad. Esperanza matemática y momentos de orden  $m$ . Distribución normal. Funciones aleatorias. Variable regionalizada. Momentos de 1er y de 2do orden. Funciones aleatorias intrínsecas y no intrínsecas. Estacionariedad. Estacionariedad de 2do orden. Análisis exploratorio y estructural. Continuidad espacial. Variograma experimental. Semivariograma teórico. Propiedades. Ejemplos. Geoestadística lineal. Kriging puntual. Ecuaciones. Kriging simple. Kriging ordinario. Limitaciones. Aspectos prácticos. Validación de resultados. Uso software GEO-EAS. Kriging por bloques: regularización. Definiciones básicas. Aspectos prácticos. Kriging universal. Ecuaciones.

## Conocimientos previos requeridos

**Carga horaria:** Teoría. 15 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 15 horas. Total: 30 horas.

**Duración:** 2 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 1 examen parcial y examen final.

## Bibliografía básica

- Bras R. L., Rodríguez-Iturbe I., "Random Functions and Hydrology", Dover Publications Inc., 1993.
- Chiles J. P., Delfines P., "Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty", Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons, 1999.
- De Marsily G., "Quantitative Hydrogeology", Ed. Academic Press, 1986.
- Journel A. G., "Fundamentals of geostatistics in five lessons", Short course in geology: Vol. 8, AGU, 1989.
- Kitanidis P. K., "Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology", Cambridge University Press, 1997.
- Myers D. P., "Apuntes cursos de posgrado en Geostatistics y Advanced Geostatistics". Department of Mathematics, University of Arizona, Tucson, Arizona, EEUU, 1992.
- Samper F. J., Carrera J. "Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea". Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, España, 1990.

# ESTADÍSTICA APLICADA

## Objetivos

Se pretende que al aprobar el curso el alumno: a) tendrá conocimientos básicos de Estadística para el planteo de modelos y posterior manejo y análisis de datos; especialmente en el ámbito del diseño de experimentos y regresión, b) podrá analizar datos provenientes de situaciones reales sobre los temas dictados en este curso, c) podrá realizar informes técnicos estadísticos, d) habrá desarrollado un pensamiento y metodología estadística que le permita enfrentarse con nuevas situaciones problemáticas no previstas en el curso.

## Programa sintético

Introducción: Modelos lineales. Diseño vs regresión? El enfoque clásico vs el enfoque de modelos lineales. Regresión lineal múltiple. Repaso: una introducción al diseño de un factor: estudio de una población y de dos poblaciones. La importancia de los gráficos. Diseño de experimentos. La importancia de planificar la experimentación. Diseño de un factor con varios niveles. Efectos fijos, aleatorios, mixtos. Otros diseños. Análisis de la covarianza.

## Conocimientos previos requeridos

Cálculo diferencial e integral en varias variables. Probabilidad y estadística de grado.

**Carga horaria:** Teoría: 45 horas. Coloquio y/o práctica en aula o laboratorio: 45 horas. Total: 90 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** Trabajos prácticos, 1 examen parcial y examen final.

## Bibliografía básica

Box G., Hunter S. y Hunter W., "Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery", Wiley-Interscience, 2005.

Dalgaard, P. (2008) Introductory Statistics with R (Statistics and Computing). Springer.

Faraway J., "Linear Models with R", Chapman & Hall/CRC, 2004.

Massart D. L., Vandeginste B. G., Buydens L. M., De Jong S., Lewi P. J. y Meyers-Verbeke J., Handbook of Chemometrics and Qualimetrics. Elsevier, 2005.

Miller J. C. y Miller J. N., "Estadística Para Química Analítica. 4 Edición, Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, 2002.

Montgomery D., "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, 2004.

Montgomery D. y Runger G., "Applied Statistics and Probability for Engineers", John Wiley & Sons, 2006.

Verzani J., "Using R for Introductory Statistics". Chapman & Hall/CRC, 2005.

Weisberg S., "Applied Linear Regression", Wiley-Interscience, 2005.





# CÁLCULO CIENTÍFICO

## Objetivos

Son objetivos del curso: a) Que los alumnos aprendan, a través de una introducción moderna, y de numerosos ejemplos, implementados por ellos mismos en computadoras, técnicas de aproximación y de resolución aproximada de problemas formulados matemáticamente, provenientes de aplicaciones en Física, Química, Biología, etc. b) Que comprendan en qué casos conviene utilizar un método u otro, que conozcan las ventajas y desventajas de cada uno y que sepan distinguir en qué casos algún método puede conducir a una solución errónea. c) Que queden sentadas las bases para que los alumnos sepan dónde buscar y encontrar referencias sobre métodos, y/o que puedan desarrollar e implementar computacionalmente métodos para problemas nuevos con los que puedan encontrarse en el futuro en sus carreras.

## Programa sintético

Interpolación polinomial y polinomial a trozos. Integración numérica. Resolución de sistemas lineales. Mínimos cuadrados y ajuste de curvas. Resolución de ecuaciones algebraicas no-lineales y optimización. Búsqueda de raíces. Minimización de funciones de una y varias variables. Resolución de sistemas de ecuaciones no-lineales. Resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias o problemas a valores iniciales. Sistemas de ecuaciones diferenciales. Resolución de ecuaciones diferenciales parciales elípticas, parabólicas e hiperbólicas. Método de diferencias finitas. Método de elementos finitos.

## Conocimientos previos requeridos

Matemática Aplicada. Análisis numérico de grado.

**Carga horaria:** Teoría: 40 horas. Práctica en laboratorio: 20 horas. Total: 60 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 2 exámenes parciales y examen final.

## Bibliografía básica

- Burden R. L., Faires J. D., "Análisis Numérico", sexta edición, International Thomson Editores, 1998.
- Golub G.H., Van Loan Ch.F., "Matrix Computations", third edition, The Johns Hopkins University Press, 1996.
- Larsson S., Thomée, V., "Partial Differential Equations with Numerical Methods", Springer, 2009.
- Van Loan Ch. F., "Introduction to Scientific Computing", second edition, Prentice-Hall, 2000.

# TRAZADORES AMBIENTALES EN HIDROLOGÍA

## Objetivos

Introducir al alumno en el uso de trazadores tales como los isótopos naturales y trazadores hidrogeoquímicos, y sus correspondientes técnicas de análisis como herramientas para la identificación de procesos ambientales a diferentes escalas espaciales.

## Programa sintético

Historia de los trazadores: trazando lo invisible. Fundamentos de geoquímica de los isótopos. Definiciones. Terminología. Estándares. Fraccionamiento de los isótopos estables. Trazadores hidrogeoquímicos conservativos y no-conservativos. Selección de trazadores. Técnicas de muestreo, análisis y controles de calidad. Ventajas y desventajas en el uso de trazadores isotópicos e hidrogeoquímicos. Herramientas analíticas para el análisis e interpretación. Modelos de mezcla. Modelos multi-isotópicos y multi-elementos. El EMMA análisis. Modelos dispersivos. Análisis de series temporales. Análisis de incertidumbres en el uso de trazadores. Uso combinado de información hidrométrica y trazadores. Casos de estudio en la transformación lluvia-escorrentía. Componentes de un hidrograma a escala de cuenca. Fuentes temporales y espaciales del agua. Identificación de los caminos del agua. Componentes de un hidrograma a escala de parcela. Consideraciones sobre variabilidad espacial y temporal de las señales. Estimación de recarga. Identificación de flujos subsuperficiales profundos y poco profundos. Estimación de tiempo de residencia. Formulación de modelos conceptuales.

## Conocimientos previos requeridos

Hidrología, Estadística y Química de grado. Manejo de programación científica.

**Carga horaria:** Teoría: 25 horas. Coloquio y/o práctica en aula, laboratorio o campo: 20 horas. Total: 45 horas.

**Duración:** 15 semanas.

**Formas de evaluación:** 1 trabajo práctico integrador y examen final.

## Bibliografía básica

Clarck I. y Fritz P., "Environmental Isotopes in Hydrogeology", CRC Press, USA, 1997.

Griffiths H. (editor), "Stable Isotopes". BIOS Scientific. Oxford, UK, 1998.

Kendall C. and McDonnell J.J., "Isotope Tracers in Catchment Hydrology", Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1998.

Material complementario: revistas científicas especializadas, tales como Water Resources Research, Environmental Quality, Contaminant Hydrology, Hydrological Processes.

