

MAR DEL PLATA, 02 DIC 2014

VISTO que por expediente n° 8-3674/14, la Secretaria de Investigación y Posgrado eleva la propuesta de creación de la carrera de Posgrado, "Doctorado en Ingeniería, orientación Modelado y Simulación Computacional", y

**CONSIDERANDO:**

Lo establecido en la Ordenanza de Consejo Superior n° 600/14, que aprueba el Reglamento de las carreras de posgrado presenciales de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Que los modelos computacionales y las tecnologías matemáticas de simulación son un recurso vital de I+D y un ingrediente esencial en la agenda de las tecnologías de innovación. Representan hoy en día ingredientes esenciales para abaratar y acelerar el desarrollo de nuevos productos en sectores industriales tradicionales tales como el aeroespacial, el financiero o la industria auxiliar del automóvil, así como otros campos con tecnología de punta como la nanotecnología. Por su propia naturaleza de metodología genética y flexible, el modelado y la simulación ofrecen la oportunidad de lograr ventajas competitivas en procesos de diseño reales, acelerar ciclos de desarrollo, estimular los procesos de innovación, apoyar los esquemas de integración de sistemas y rediseñar y controlar los modelos de producción.

Que el modelado y la simulación computacional constituyen una disciplina nueva basada en campos científicos preexistentes tales como la matemática, la computación, la ingeniería de sistemas, la ingeniería de software y la inteligencia artificial.

Que este programa de doctorado pretende que los alumnos adquieran conocimientos científicos y tecnológicos avanzados sobre modelado y simulación computacional y dominen un conjunto de principios teóricos, métodos científicos e instrumentos formales que lo capaciten para llevar a cabo trabajos de investigación, diseño, desarrollo e innovación en esta área, todo ello de forma flexible para facilitar su adaptación al entorno tan rápidamente cambiante y tan crecientemente competitivo que está afectando de modo sustancial a los sectores industriales.

El informe de la Comisión Académica de Posgrado a fojas 18.

Que la Comisión de Investigación, Posgrado y Extensión Universitaria, recomienda aprobar la creación de la carrera de posgrado propuesta.

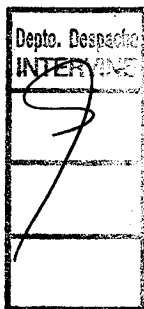
Lo aprobado en sesión n° 17 del 21 de noviembre del año en curso.  
Las atribuciones conferidas por el Estatuto de la Universidad.

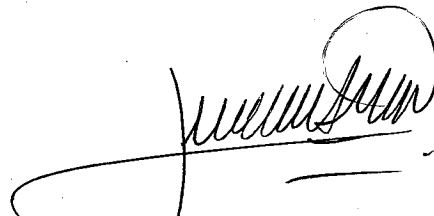
EL CONSEJO ACADEMICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA  
ORDENA:


ARTICULO 1°.- Proponer al Consejo Superior apruebe la creación en el ámbito de la Facultad de Ingeniería, de la carrera de posgrado "Doctorado en Ingeniería, orientación Modelado y Simulación Computacional", cuyas características académicas, fundamentos, objetivos, contenidos mínimos, y demás requisitos se agregan como anexo I de doce (12) fojas a la presente Ordenanza de Consejo Académico.

ARTICULO 2°.- Regístrese. Dése al Boletín Oficial de la Universidad. Comuníquese a quienes corresponda. Cumplido, archívese.

ORDENANZA DE CONSEJO ACADEMICO N° 1194



  
Ing. Juan Carlos STECCA  
Secretario de Coordinación  
Facultad de Ingeniería-UNMDP

  
Dr. Guillermo A. LOMBERA  
Presidente Consejo Académico  
Facultad de Ingeniería-UNMDP

**Doctorado en Ingeniería, orientación Modelado y Simulación Computacional****PARTE I: FUNDAMENTACIÓN****I.1 Antecedentes**

La amplitud de conocimientos y técnicas que conforman hoy el campo de la Ingeniería obliga a la necesidad de una estructura académica donde coexistan por un lado el nivel de grado y por otro el de posgrado. En el grado la formación está orientada hacia un profesional capaz de aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de los problemas con los que se encuentre en su desempeño profesional. En cambio en el posgrado se pretende formar recursos humanos capaces de crear nuevo conocimiento y transmitirlo. En el nivel de posgrado se busca privilegiar la profundidad de los conocimientos por sobre la amplitud de los mismos, la promoción de actitudes relacionadas con la transferencia de conocimientos, la incentivación de actitudes creativas, de búsqueda y de experimentación.

En años recientes la necesidad de posgrados en ingeniería en el país se ha hecho clara y se cuenta actualmente en el sistema universitario con doctorados, algunos de los cuales han sido tomados, junto con doctorados de universidades extranjeras, como base para la elaboración de este proyecto:

- Doctorado en Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Instituto Balseiro. S.C. de Bariloche. Universidad Nacional de Cuyo.
- Doctorado en Ingeniería, Mención Mecánica Computacional, INTEC, Santa Fé, Universidad Nacional del Litoral.
- Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
- Doctorado en Computación Científica. Laboratorio Nacional de Computación Científica. Petrópolis. Rio de Janeiro. Brasil.
- Programa de Doctorado de la Universidad de Texas en Austin, de los EEUU "The Computational Science, Engineering, and Mathematics (CSEM) graduate program".

Se han tomado también especialmente en cuenta la experiencia del Doctorado en Ciencia de Materiales y del Doctorado en Ingeniería orientación Electrónica, ambos de nuestra Facultad de Ingeniería.

Los modelos computacionales y las tecnologías matemáticas de simulación son un recurso vital de I+D y un ingrediente esencial en la agenda de las tecnologías de innovación. Representan hoy en día ingredientes esenciales para abaratar y acelerar el desarrollo de nuevos productos en sectores industriales tradicionales tales como el aeroespacial, el financiero o la industria auxiliar del automóvil, así como otros campos con tecnología de punta como la nanotecnología. Por su propia naturaleza de metodología genérica y flexible, el modelado y la simulación ofrecen la oportunidad de lograr ventajas competitivas en procesos de diseño reales, acelerar ciclos de desarrollo, estimular los procesos de innovación, apoyar los esquemas de integración de sistemas y rediseñar y controlar los modelos de producción. El modelado y la simulación están entre las metodologías de nueva generación en I+D y de gestión del conocimiento. Es un hecho bien establecido que un número creciente de sectores en la industria, el comercio, las finanzas y la administración emplean modelos matemáticos, computacionales y técnicas de simulación en sus labores de I+D. Se utilizan modelos para reemplazar o aumentar el alcance de experimentos o tests de laboratorio, para crear imágenes virtuales de objetos y sistemas, materiales aun no existentes y condiciones artificiales, para optimizar el diseño de productos, para predecir el comportamiento de sistemas, así como factores de riesgo y posibles fallos, aumentar el conocimiento de mecanismos y fenómenos complejos, realizar análisis inteligentes de datos de medida y para gestionar y controlar grandes sistemas de información, redes y bases de datos. Por otra parte, el Reporte del año 2006 de la National Science Foundation (NSF) "Simulation-

based Engineering Science"<sup>1</sup> predice que el uso del modelado y la simulación va a revolucionar la ciencia de la ingeniería debido a las razones expuestas anteriormente.

El modelado y la simulación computacional constituyen una disciplina nueva basada en campos científicos preexistentes tales como la matemática, la computación, la ingeniería de sistemas, la ingeniería de software y la inteligencia artificial. Por otro lado, el hecho de que el modelado y la simulación precisen de campos científicos variados como los expuestos anteriormente requiere de una formación adicional a la que se imparte en la carrera de grado en estas disciplinas que se logrará con la formación propuesta en este proyecto.

Este proyecto se encuadra en la reglamentación general de los doctorados de La Facultad (OCA 1053/11) en concordancia con la reglamentación de posgrados de la UNMDP (OCS 600/14).

### I.3 Factibilidad

En cuanto a la factibilidad del proyecto cabe destacar:

- Que en la Facultad de Ingeniería existen más de 100 investigadores con grado de Doctor cuyas actividades de investigación están directamente relacionadas con la Ingeniería, y por lo tanto capacitados para dirigir tesis en este doctorado y dictar cursos de posgrado.
- Que existe una importante cantidad de grupos de investigación compuestos por Investigadores de primera línea, pertenecientes al CONICET y/o a la UNMDP, además de investigadores-docentes jóvenes y becarios. Esto se refleja en la buena producción científica.
- Que por otra parte se cuenta con los recursos materiales en cuanto a equipamiento, subsidios de investigación, espacio físico, etc. correspondientes a los grupos de investigación, con una amplia trayectoria tanto en investigación como en la transferencia de conocimiento e innovación tecnológica.
- Que para garantizar la calidad académica se han establecido fuertes lazos de colaboración con otras instituciones universitarias del país y del extranjero, a través de convenios marco y convenios específicos.

### I.4 Objetivos

Este programa de doctorado pretende que los alumnos adquieran conocimientos científicos y tecnológicos avanzados sobre modelado y simulación computacional y dominen un conjunto de principios teóricos, métodos científicos e instrumentos formales que los capaciten para llevar a cabo trabajos de investigación, diseño, desarrollo e innovación en esta área, todo ello de forma flexible para facilitar su adaptación al entorno tan rápidamente cambiante y tan crecientemente competitivo que está afectando de modo sustancial a los sectores industriales.

Este objetivo general se puede desglosar en las siguientes metas:

- Capacitar recursos humanos en el máximo nivel de calidad en el modelado y simulación computacional.
- Generar conocimientos de primer orden en ciencia y tecnología, originales y creativos de probado valor, orientados a acrecentar los conocimientos del área.
- Efectuar un aporte al desarrollo científico, técnico y cultural de la sociedad.
- Formar investigadores científicos y tecnológicos, con el adiestramiento y preparación necesarios para el desarrollo de actividades creativas en forma independiente dentro de su especialidad.

### I.4 Perfil del egresado

Se entiende que el egresado del **Doctorado en Ingeniería orientación Modelado y Simulación Computacional**, debe poseer un perfil en el que sean características relevantes:

- Una visión clara, integrada y actualizada del cuerpo de conocimientos teóricos fundamentales sobre Modelado y Simulación Computacional.

<sup>1</sup> National Science Foundation (NSF) Blue Ribbon Panel (2006). Report on Simulation-Based Engineering Science: Revolutionizing Engineering Science through Simulation. NSF Press

- La capacidad de llevar a cabo trabajos de investigación, diseño, desarrollo e innovación de forma flexible para facilitar su adaptación al entorno industrial rápidamente cambiante y crecientemente competitivo.
- Una formación que le permita ser capaz de dar respuesta a la realidad y las necesidades del medio desde una perspectiva de creación de conocimientos y para la incorporación de los mismos a los problemas específicos.
- Una actitud de generosidad que implique una natural tendencia hacia la divulgación de los conocimientos y de interés por las novedades científicas y tecnológicas, propia del investigador y del experimentador.
- La capacidad de integrarse a grupos de trabajo con la vocación de colaborar a su consolidación.

**I.5 Título a otorgarse**

El título que se otorgará para esta carrera es el de **Doctor en Ingeniería orientación Modelado y Simulación Computacional**, debiendo constar en el diploma el Título de la Tesis que el postulante haya realizado. No existirán títulos intermedios.

**I.6 Estructura del Proyecto**

Dado que la Facultad de Ingeniería cuenta con la Reglamentación para sus posgrados se considera conveniente para facilitar el análisis incluir en lo que sigue únicamente aquellos aspectos que hacen a las características particulares de este doctorado.

PARTE II: ORGANIZACIÓN DE LA CARRERA

**II.1 Tipo de Carrera**

Esta carrera se propone como una Carrera de Posgrado permanente, es decir que no se definen términos de la misma. El funcionamiento se regirá por el Reglamento interno de la Facultad de Ingeniería y el Reglamento de las carreras de Posgrado presenciales de la UNMDP (OCS 600/14). La carrera está conformada por un plan de estudios compuesto por la aprobación de cursos de posgrado relacionados con la investigación propuesta y el desarrollo y aprobación de una Tesis Doctoral.

**II.2 Tesis**

El requisito más importante para el doctorando es el desarrollo de su trabajo de investigación. De la labor llevada a cabo surge la Tesis Doctoral, que deberá estar estructurada sobre la base de una rigurosa metodología de trabajo científico y cuyos resultados deberán ser una contribución personal original y de calidad, donde se demuestre el aporte a la comunidad científica y tecnológica en un tema de investigación en el área del Modelado y la Simulación Computacional.

**II.3 Cuerpo de Profesores**

Los requisitos para ser Director de Tesis no se reiteran aquí pues son los establecidos en los mencionados Reglamentos. La lista inicial de directores de tesis con que se cuenta es la que se indica en el anexo I. Los Directores de Tesis integran el Cuerpo de Profesores Inicial. Se ha asegurado la participación de Profesores de Posgrado de otras Universidades.

**II.4 Estructura de los Cursos**

No se establecen otros requisitos en UVACS más que los requeridos según el Reglamento de la Facultad de Ingeniería.

La estructura de los cursos responde a dos objetivos:

- Profundizar la formación físico-matemática de los alumnos del doctorado, de forma que, además de posibilitar la realización del trabajo de investigación que constituya la tesis de doctorado, el alumno tenga una formación básica en el campo del modelado y la simulación computacional.
- Formar al alumno en las técnicas y metodologías no cubiertas por el grado que sean útiles para el proceso de investigación científica.

El Director de Tesis seleccionará el conjunto de cursos más apropiado para el Plan de Tesis que se presenta.

La oferta inicial de cursos es la que se indica en el Anexo II, en el que también se han incluido los contenidos mínimos de cada curso y el número de UVACS.

Todos los cursos de doctorado vigentes en la Facultad de Ingeniería de la UNMDP, podrán formar parte del plan de estudios del doctorando.

En general el dictado de los cursos se realizará cada 2 años.

### PARTE III: INFORMACIÓN DETALLADA

#### LISTADO DE PROFESORES /DIRECTORES DE TESIS

**Celso Aldao.** Ing. Electrónico UNMDP / Ph.D. en Ciencia de Materiales Universidad de Minnesota EEUU/ Categoría 1 Programa Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Superior CONICET

**Hilda Larrondo.** Ing. Electrónica UBA / Lic. en Física UNLP / Dr. En Física UNLP /Categoría 1 Programa Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Principal CONICET

**Guillermo Eliçabe** Ing. Electricista UNMDP / Dr. en Tecnología Química UN Litoral/ Categoría 2 Programa de Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Química, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Independiente CONICET

**Carlos Díaz** Lic. en Química UNMDP / Dr. en Cs. Químicas UNMDP / Profesor Adjunto Facultad de Ingeniería y Profesor Adjunto Facultad de Cs. Exactas y Naturales UNMDP

**Adrián Cisilino.** Ing. Mecánico UNMDP / Ph. D. University of Wales, UK/ Categoría 1 Programa de Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Independiente CONICET

**Santiago Urquiza.** Ing. Nuclear. Instituto Balseiro UN Cuyo / Dr. en Cs. de la Ingeniería. Instituto Balseiro UN Cuyo / Categoría 2 Programa de Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNMDP

**Guillermo Lombera.** Ing. Mecánico UNMDP / Dr. en Cs. de Materiales UNMDP / Categoría 2 Programa de Incentivos / Profesor Asociado, Dpto. de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Adjunto CONICET

**Jorge Castiñeira Moreira.** Ing. Electricista UNMDP / Doctor en Comunicaciones University of Lancaster UK / Categoría 1 Programa de Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Adjunto de Conicet

**Miguel Arizmendi** Lic. en Física UBA / Dr. en Física UNLP. / Categoría 1 Programa Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, UNMDP.

**Gloria L. Frontini** Ing. Electricista UNMDP / Dra. en Ingeniería UBA/ Categoría 2 Programa de Incentivos / Profesor Titular, Dpto. de Matemática, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Adjunto CONICET

**Sandra Molina** Lic. en Matemática UNMDP / Dra. en Matemática UBA / Profesor Adjunto, Dpto. de Matemática, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales UNMDP

**Ignacio Andrés García** Lic. en Matemática UNL / Dr. en Matemática UBA / Profesor Adjunto, Dpto. de Matemática, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales UNMDP

**Gustavo Arenas** Ing. Electrónico UNMDP / Dr. en Ingeniería orientación electrónica UNMDP / Profesor Adjunto, Dpto. de Ing. Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Asistente CONICET

**Gustavo Zabaleta** Ing. Electrónico UNMDP / Dr. en Ingeniería orientación electrónica UNMDP / Profesor Adjunto, Dpto. de Ing. Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNMDP

**Luciana De Micco** Ing. Electrónica UNMDP / Dra. en Ingeniería orientación electrónica UNMDP / Jefe de Trabajos Prácticos, Dpto. de Ing. Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNMDP / Investigador Asistente CONICET

**Fernando Otero** Ing. Electrónico UNMDP / Dr. en Ingeniería orientación electrónica UNMDP / Jefe de Trabajos Prácticos, Dpto. de Ing. Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNMDP

#### PROFESORES /DIRECTORES DE TESIS EXTERNOS

**Irene Martínez Gamba.** Lic. en Matemática UBA / Ph. D. University of Chicago Illinois EEUU/ Prof. Department of Mathematics / Institute for Computational Engineering University of Texas, Austin and Sciences EEUU

**Luis Cafarelli.** Lic. en Matemática UBA / Dr. en Cs. Matemáticas UBA / Prof. Department of Mathematics / Institute for Computational Engineering University of Texas, Austin and Sciences EEUU

**Claudio Padra.** Lic. en Matemática UBA / Dr. en Cs. Matemáticas UBA, Centro Atómico Bariloche Prof. UNC / Investigador principal CONICET

**Mario A. Storti.** Lic. en Física Instituto Balseiro UN Cuyo / Dr. en Tecnología Química UN Litoral / Categoría 1 Programa de Incentivos / Prof. Asociado UN Litoral / Investigador Principal CONICET

**Marcelo Vénere.** Ing. Nuclear. Instituto Balseiro UN Cuyo / Dr. en Ingeniería Nuclear. Instituto Balseiro UN Cuyo / Categoría 1 Programa de Incentivos / Profesor Asociado, UN del Centro /

**Pablo Blanco.** Ing. Electromecánico UNMDP / Dr. en Modelado Computacional Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC Brazil / Prof. LNCC / Investigador LNCC

**Ángel Plastino.** Lic. En Física UNLP / Dr. En Física UNLP / Prof. Emérito UNLP / Investigador Superior CONICET

**Carlos Alberto García Canal.** Lic. En Física UNLP / Dr. En Física UNLP / Prof. Emérito UNLP / Investigador Superior CONICET.

**Guillermo Rus Carlborg.** Ing. Tco. Superior de Caminos, Canales y Puertos Universidad de Granada España/ Dr. Europeus /Departamento de Mecánica de medios continuos y teoría de Estructuras/ Prof. Titular Universidad de Granada España

## CURSOS

### CONTENIDOS MINIMOS

- ANÁLISIS FUNCIONAL PARA MATEMÁTICA APLICADA I  
(4 UVACs/ 36 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)

Nociones elementales de topología. Espacios métricos y topológicos. Medida de Lebesgue e integración. Integrales de contorno complejas. Espacios normados. Espacios de Banach. Espacios de Lebesgue. Teoremas de Hahn-Banach. Teorema de la gráfica abierta. Compacidad y convergencia débil. Topologías débil y débil\* .Dual de un operador. Espacios de Hilbert. Mejor aproximación y proyección ortogonal. Espacio dual. Conjuntos ortonormales. Convergencia débil en espacios de Hilbert. Teoría Espectral y Operadores Compactos. Resolvente y espectro de un operador. Teoría espectral en espacios de Banach. Operadores compactos en espacios de Banach. Operadores acotados y autadjuntos en espacios de Hilbert. Operadores autoadjuntos y compactos en espacios de Hilbert. Teoría de Sturm-Liouville.

- ANÁLISIS FUNCIONAL PARA MATEMÁTICA APLICADA II  
(4 UVACs/ 36 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)

Teoría de Distribuciones-Operaciones- Convergencia y aproximación a la identidad- Ecuaciones diferenciales parciales y soluciones fundamentales. Transformada de Fourier- La teoría en  $L^1$  y  $L^2$ - Trasmomada de Fourier y espacio de Schwartz- Aplicaciones a la resolución de ecuaciones y a la teoría de señales. Espacios de Sobolev-Espacios de Hölder Teoremas de inclusión ("embedding theorems")-Compacidad- Teorema de la Traza-Desigualdades de Sobolev. Ecuaciones diferenciales parciales elípticas de segundo orden-Soluciones débiles- Teorema de Lax-Milgram -Regularidad -Principios del máximo.

- PROBLEMAS NO LINEALES QUE INVOLUCRAN DIFUSIÓN ANÓMALA Y ECUACIONES DE TIPO BOLTZMANN  
(2 UVACs/ 18 hs teóricas , 12 hs teórico-prácticas)

Problemas de Difusión Anómala. Un revisión de los problemas de ecuaciones de segundo orden: ecuaciones de divergencia y métodos de energía para problemas variacionales. El método de viscosidad para el caso no-divergente. Divergencia no-local I:

La ecuación cuasi-geostrófica. Divergencia no-local II: Medios porosos con una presión potencial. Un problema de frontera libre: Membranas semi-permeables. No divergencia no local I: Control óptimo para procesos de Levy. No divergencia no local II: p-laplaciano y tug-of-war (tira y afloja).

Ecuación de Boltzmann. Problemas de espacio homogéneo. Existencia y las propiedades de unicidad. Lemas de tipo Povzner. Integral de Carleman. Desigualdades de momento. Comparaciones para cotas puntuales de soluciones.

Problemas de espacio no-homogéneo. El método de iteración de Kaniel / Shimbrot versus el método de Di Perna de la teoría de lemas de promedio.

Ecuaciones cinéticas de tipo Maxwell, soluciones estacionarias y auto-similares para los problemas de espacio homogéneo. Conexiones a escala dinámica y conexiones a las leyes estables de la teoría de probabilidad continua a estados no gaussianos. Aplicaciones a la propagación de la información y a los problemas multi-agente.

Obtención de modelos cinéticos para el transporte de carga. Sistema de Boltzmann-Poisson. Modelado de pequeños aparatos no homogéneos. Sistemas de Boltzmann-Poisson vs sistemas Fokker-Planck-Poisson.

De la cinética a los los modelos dinámicos de fluidos. Caminos libres de media pequeña, y expansiones de Hilbert y de Chapman. Métodos de momento. Derivación de las ecuaciones de nivel de fluido. Aproximaciones de bajo campo: modelos de difusión derivada. Aproximaciones de alto campo. Modelos hidrodinámicos.

- **TEORÍA DE FLUJOS EN MEDIOS POROSOS Y PROBLEMAS DE CAMBIO DE FASE: EL PROBLEMA DEL OBSTÁCULO**  
(1,5 UVACs/ 12 hs teóricas , 12 hs teórico-prácticas)  
Teoría de flujos en medios porosos. Introducción: El problema de Cauchy para la ecuación en medios porosos. Teoremas de existencia de soluciones débiles. Tipos particulares de soluciones: Traveling profiles, soluciones obtenidas por separación de variables, soluciones fundamentales. Comportamiento de las soluciones bajo cambios de escala. Estudio de la regularidad en la frontera libre. Caso N-dimensional.  
El problema del obstáculo. Introducción: El problema del obstáculo. Descripción del problema. Motivación para su estudio. Caracterización y propiedades de funciones armónicas y super-armónicas. Estudio de la regularidad de las soluciones en la frontera libre. Estudio de la singularidades.
- **ANÁLISIS ESTOCÁSTICO**  
(4 UVACs/ 24 hs teóricas ,48 hs teórico-prácticas)  
Revisión de Teoría de probabilidad: variables aleatorias y funciones de probabilidad  
Revisión de Procesos y secuencias estocásticas. Estacionariedad y Ergodicidad.  
Procesos y secuencias estocásticas no-estacionarias.  
Movimiento Browniano: construcción, propiedades básicas y simulación.  
Martingalas y sus propiedades básicas.  
Cadenas de Markov en tiempo continuo y discreto.  
Ecuaciones diferenciales estocásticas. Procesos de difusión.  
Modelos estocásticos simples. Ecuación de Fokker-Planck Regla de Chapman-Kolmogorov. La Ecuación Maestra y el proceso de Saltos. Integración estocástica. Integral de Ito. Aplicaciones.
- **COMPUTACIÓN CUÁNTICA**  
(4 UVACs/ 24 hs teóricas ,48 hs teórico-prácticas)  
Computadoras y Tesis de Church-Turing: Versión fuerte, modificación probabilística y formulación cuántica. Modelo de Circuitos. Universalidad. Física Cuántica y

Computación. La Notación de Dirac y los Espacios de Hilbert. Operadores. El Teorema Espectral. Producto Tensorial. Teorema de Descomposición de Schmidt. Operadores Adjuntos y Hermíticos. Conmutador. Postulados de la Cuántica.

Complejidad: Modelos. Máquina de Turing. Circuitos. Clases de complejidad P y NP. Energía y Computación.

Computación Cuántica: El Estado de un Sistema Cuántico. Evolución Temporal de un Sistema Cerrado. Sistemas Compuestos. Estados Mixtos y Operaciones Cuánticas. EPR y Desigualdades de Bell. Medición.

Algoritmos Cuánticos Básicos: Compuertas de 1 y múltiples qubits. El interferómetro. Compuertas Cuánticas Universales. Copia de Qubits. Kick-Back de Fase. Algoritmo de Deutsch. Algoritmo de Deutsch-Josza. Algoritmo de Bernstein-Vazirani.

Algoritmos con Aceleración Superpolinomial: Estimación cuántica de Fase y la Transformada Cuántica de Fourier. Búsqueda de Orden. Subgrupo Oculito. Algoritmo de Grover. Factorización de enteros (Algoritmo de Shor). Acelerando problemas NP completos.

Corrección de Errores: Causas principales de error. Teoría de la información Cuántica. Corrección de Errores Cuánticos.

- **MATEMÁTICA APLICADA A LAS MEDICIONES INDIRECTAS**  
(3 UVACs/ 24 hs teóricas ,24 hs teórico-prácticas)  
Revisión de álgebra lineal y espacios vectoriales. Descomposición en valores singulares. Inversión exacta, mal condicionamiento y regularización.  
Ecuaciones integrales. Forma espectral. Reducción a un sistema de ecuaciones algebraicas. Cuadratura.  
Métodos de inversión lineal. Mínimos cuadrados. Seudoinversa. Inversión con restricciones.  
Métodos de selección del parámetro de regularización. GCV. Curva L.  
Otros métodos de inversión. Métodos Iterativos.  
Análisis del contenido de información presente en las mediciones indirectas.  
Ejemplos de aplicación en distintas ramas de ingeniería y física
- **FISICA DE SUPERFICIES E INTERFASES: MODELADO Y SIMULACION**  
(4 UVACs/36 hs teóricas , 36 hs teórico-prácticas)  
Estructura cristalina y electrónica de superficies. ¿Qué es una superficie? Morfología y estructura de superficies e interfaces. Reconstrucción y relajación. Cristalografía superficial. Función trabajo. Teoría de bandas. Estados superficiales. Métodos experimentales de caracterización superficial: espectroscopías de fotoemisión, microscopía de efecto túnel y de fuerzas atómicas. Estructura de superficies metálicas. Estructura de superficies semiconductoras. Adsorción: fisisorción y quimisorción.  
Interfaces y concepto de scaling.  
Métodos de análisis. Auto-similaridad y auto-afinidad. Procesos de deposición. Deposición al azar. Deposición balística. Scaling dinámico. Ecuaciones estocásticas de crecimiento. Simulaciones de Monte Carlo. Modelos de crecimiento. Crecimiento de superficies. Step flow. Nucleación de islas y crecimiento. Modelos de crecimiento discreto. Deposición al azar con relajación superficial. Principios de simetría. La ecuación de Edward-Wilkinson. La ecuación de Kardar-Parisi-Zhang. La ecuación de Mullins-Herring. Modelos sólido-sobre-sólido y sólido-sobre-sólido restringido. Exponentes de scaling. Crecimiento epitaxial por haces moleculares y ataque químico: nanotecnología. Difusión superficial. Crecimiento con desorción. Modelos con activación térmica. Experimentos de MBE. Experimentos de ataque químico húmedo y seco. Dispositivos micro- y nanoelectromecánicos. Propiedades dinámicas.
- **FORMULACIONES VARIACIONALES AVANZADAS EN EL MODELADO DE MEDIOS CONTINUOS**



(3 UVACS / 36 hs. teóricas)

Álgebra tensorial. Análisis tensorial. Nociones de mecánica del continuo. Ejemplos de problemas de la mecánica de los medios continuos: mecánica de fluidos y mecánica de sólidos. Dualidad en mecánica. Principio de la potencia virtual. Principio de la potencia virtual complementaria. Clases de restricciones cinemáticas. Reacciones de vínculo. Aplicación en la mecánica de sólidos en grandes deformaciones. Descripción espacial y material.

- FLUIDODINAMICA COMPUTACIONAL APLICADA

(4 UVACS/48 hs. teóricas)

Descripción Euleriana y Lagrangiana. Balances integrales. Expresiones diferenciales para una partícula del fluido. Adimensionalización. Flujos ideales irrotacionales. Ecuaciones de Navier-Stokes. Condiciones de borde. Incompresibilidad. Transporte y difusión. Efectos térmicos. Flujo en medios porosos. Turbulencia. Difusión vs. Transporte.

Ecuación de Advección Pura: Aproximaciones numéricas por diferencias finitas, Asimetría por transporte. Esquema numéricos, inestabilidades. Esquemas de Courant y de Esquema de Lax-Wendroff. Método de las características. Dispersión y disipación numéricas. Ponderación a contracorriente. Condición de C-F-L. Dispersión y disipación numéricas. Errores de aproximación. Estabilidad: Métodos de Von Neumann y de la ecuación diferencial modificada. Ecuaciones con advección no lineal: ecuación de Burgers. Ecuación de advección-difusión estacionaria. Esquema centrado: inestabilidades, influencia del número de Peclet. Esquema descentrado a contracorriente. Formulación variacional. Elementos Finitos ponderados a contracorriente. Estabilización basada en cuadrados mínimos.

Ecuaciones de Navier - Stokes: formulación variacional. Tratamiento numérico de la incompresibilidad. Casos particulares: fluidos viscoplásticos, de Bingham. Ecuaciones de Boussinesq, convección natural en un compartimento cerrado. Advección de sustancias. Dominios móviles y descripción Arbitrariamente Euleriana-Lagrangeana. Técnicas de Pseudo-concentraciones, Función de nivel (level set), y fracción de volumen (VOF).

- FORMULACIONES VARIACIONALES EN EL MODELADO MULTIESCALA

(3 UVACS / 36 hs. teóricas)

Problema modelo. Modelado constitutivo multiescala basado en el concepto de elemento de volumen representativo. Principio de macrohomogeneidad de Hill-Mandel. Concepto de admisibilidad cinemática. Dualidad en mecánica. Principio multiescala de la potencia virtual. Ecuaciones de Euler-Lagrange. Homogenización de variables duales de tipo fuerza y tipo tensión. Mecánica de sólidos de alto orden. Modelado de falla de materiales. Microfluídica. Termomecánica. Materiales micromórficos.

- COMPUTACIÓN DE ALTO RENDIMIENTO EN MECÁNICA COMPUTACIONAL. MPI, PETSC Y OPENMP

(3 UVACS/ 36 hs teóricas)

Conceptos básicos de MPI. Uso de MPI en programas simples. Ejemplos en Fortran y C. Comunicación punto a punto. Comunicación colectiva. Broadcast. Reducción global. Operaciones asociativas. Definición de nuevas operaciones asociativas. Escalabilidad. MPI en ambientes Unix. MPICH. Utilitarios. La librería PETSC de álgebra lineal en paralelo. Objetos PETSc.

Vectores y datos distribuidos. Creando vectores. Operaciones de scatter y gather. Matrices sparse. Matrices densas. Operaciones 'matrix-free'.

SLES: Solvers lineales. Familia de métodos de Krylov. Precondicionamiento.

Open-MP. Conceptos básicos de Open-MP. Rutinas utilitarias de información y ajuste de parámetros.

- ANALISIS DIMENSIONAL Y TEORIA DE MODELOS  
(4 UVACs/48 hs. teóricas)  
Magnitudes físicas. Sistemas de Unidades: unidades fundamentales y unidades derivadas. Transformación de unidades. Principio de la Homogeneidad Dimensional. Calculo sistemático de parámetros adimensionales: Conjuntos completos de Productorias adimensionales. Teorema de Buckingham. Fundamentos algebraicos del Análisis dimensional. Definición matemática de la homogeneidad dimensional, su expresión en sumas, productos y funciones trascendentales. Teoría de Modelos: empleo de modelos en mecánica, su valor práctico en los métodos empíricos. Semejanza completa: Semejanzas geométrica, cinemática y dinámica. Métodos empíricos en la ingeniería de modelos. Casos de aplicación en problemas de tensión y deformación en sólidos; aplicaciones a la mecánica de los fluidos y problemas de transferencia de calor. Aplicaciones de semejanza en máquinas y componentes mecánicos. Análisis dimensional y ecuaciones diferenciales: semejanza en la formulación y en las condiciones de contorno e iniciales. Adimensionalización de ecuaciones diferenciales. Empleo del análisis dimensional para la reducción de las ecuaciones diferenciales. Aplicaciones a las ecuaciones de Navier-Stokes: flujos entre placas, teoría de la lubricación, capa límite, otros ejemplos de aplicación de reducción de ecuaciones a partir del análisis dimensional>taller de casos con las tesis de los alumnos.
- ALGEBRA LINEAL Y SUS APLICACIONES  
(3 UVACs/ 24 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)  
Transformaciones lineales. Matrices. Determinantes. Rango y núcleo de una transformación lineal. Autovalores y autovectores. Propiedades. La norma y el número de condición de una matriz.  
Espacios vectoriales. Independencia lineal, bases y dimensión. Los cuatro subespacios fundamentales. Ortogonalidad de vectores y subespacios.  
Proyecciones ortogonales y mínimos cuadrados. Productos internos y proyecciones sobre rectas. Proyecciones sobre subespacios y aproximaciones por mínimos cuadrados. Bases ortogonales, matrices ortogonales y ortogonalización de Gram-Schmidt. La pseudoinversa y la descomposición en valor singular.  
Espacios Unitarios y Formas Cuadráticas. La forma diagonal de una matriz. Ecuaciones en diferencias y las potencias  $A^k$ . Ecuaciones diferenciales y la exponencial  $e^{At}$ . El caso complejo: matrices hermitianas y unitarias. Matrices positivamente definidas. Matrices circulares. Forma canónica de Jordan. Formas cuadráticas. Diagonalización de Formas cuadráticas. Transformaciones ortogonales.
- RESOLUCION DE ECUACIONES DIFERENCIALES POR DIFERENCIAS FINITAS  
(3 UVACs/ 24 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)  
Clasificación de ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Condiciones iniciales y de contorno; problemas bien planteados. Fundamento del método en diferencias finitas. Diferencias centradas, atrasadas y adelantadas. Operadores diferenciales. Normas de vectores y matrices; normas subordinadas de matrices. Radio espectral de una matriz cuadrada.  
EDP parabólicas. Aproximación en diferencias por los métodos explícito e implícito. Resolución de sistemas de ecuaciones lineales por eliminación Gaussiana y empleando descomposición LU. Métodos de Crank-Nicolson y completamente implícito. Método de las direcciones alternadas para EDP 2-D espacial. Planteo de la aproximación en diferencias empleando coordenadas cilíndricas y esféricas. EDP no-lineales; método de Newton.  
Consistencia de un método en diferencias finitas. Estabilidad y convergencia de las soluciones; errores de truncamiento y de discretización. Métodos de análisis matricial;

autovalores de matrices tridiagonales. Teoremas de Gerschgorin y Brauer. Teorema de equivalencia de Lax. Esquema en diferencias de Du Fort-Frankel. EDP elípticas. Métodos iterativos sistemáticos; Jacobi, Gauss-Seidel y SOR. Mejoramiento de las soluciones; método de Richardson. Tratamiento de contornos curvos. Resolución empleando coordenadas polares. Tratamiento de EDP hiperbólicas.

- **ULTRASONIDOS PARA LA EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA**  
(2,5 UVACS/ 24 hs teóricas, 36 hs prácticas)  
Introducción a la END. Técnicas existentes para monitorizar daño, especialmente las basadas en ultrasonidos, como paradigma especialmente desarrollado. Fundamentos físicos del Ultrasonido. Modelos Matemáticos. END clásica. Introducción a Problemas Inversos. Fundamentos físicos de los sistemas de evaluación no destructiva. END basada en modelos. Técnicas ultrasónicas avanzadas. Técnicas ultrasónicas en desarrollo. Caracterización por ultrasonidos de propiedades mecánicas.
- **FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO**  
(4 UVACS/48 hs. teóricas)  
Mecánica cuántica, orígenes. La ecuación de Schrodinger. Valores medios y magnitudes observables. Mecánica estadística, el problema de muchos cuerpos. Funciones de distribución. Estructura cristalina, operaciones de simetría. Planos cristalinos e índices de Miller. Red recíproca. Dinámicas de las redes cristalinas, vibraciones elásticas de medios continuos. Propiedades térmicas de cristales, valores específicos, modelos de Einstein y Dable. Propiedades eléctricas y magnéticas de los metales y semiconductores. Propiedades dieléctricas de los sólidos. Defectos puntuales y aleaciones. Dislocaciones.
- **SISTEMAS DINAMICOS**  
(4 UVACS/ 36 hs teóricas +24 hs teórico-prácticas)  
Sistemas dinámicos autónomos y no autónomos. Sistemas lineales y no lineales. Teoría cualitativa. Problemas linealizables y no linealizables. Atractores. Estabilidad. Exponentes de Lyapunov. Dimensión Fractal. Atractores extraños. Caos. Sistemas de baja dimensión. Osciladores forzados. Mapas de Fase. Bifurcaciones y caos en mapas. Colecciones de osciladores. Sistemas de alta dimensión. Reducción de la dimensión. Aplicaciones a sistemas dinámicos biológicos y electrónicos. Aplicaciones a las comunicaciones.
- **CARACTERIZACION DE SISTEMAS CAOTICOS Y SU APLICACION A LAS COMUNICACIONES** (5 UVACS/ 36 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas, 36 prácticas)  
Sistemas dinámicos. Sistemas autónomos y no autónomos. Sistemas lineales y no lineales. Sistemas discretos y continuos. Sistemas de baja dimensión y de infinitos grados de libertad. Teoría cualitativa. Comportamiento asintótico: conjuntos co-límite y a-límite. Problemas inalcanzables y no inalcanzables. Atractores. Caracterización del comportamiento caótico. Osciladores forzados. Bifurcadores y caos. Sincronización. Control de caos. Análisis de señales caóticas en el canal de comunicación. Sistemas de comunicaciones autónomos y no- autónomos.
- **TEORIA DE LA INFORMACION Y CODIFICACION**  
(5 UVACS/ 48 hs teóricas ,36 hs teórico-prácticas)  
Codificación para el control de errores: Información, Medida de la Información, Entropía y velocidad de la información, Extensión de una fuente discreta sin memoria, Canales e información mutua, Transmisión de información en canales discretos, Canales de Información, Relaciones entre las probabilidades de un canal, Entropías a priori y a posteriori, Información Mutua, Capacidad de un Canal Discreto, Teoremas de Shannon, Consecuencias de los límites en comunicaciones.

Códigos de Bloques: Codificación y control de error, Detección y corrección de errores, Códigos simples, El código de repetición, Códigos de Bloques. Introducción y parámetros asociados, Forma sistemática de un código de bloques, Detección de errores por síndrome, Distancia mínima de un código de bloques, Capacidad de corrección de errores en un código de bloques, Detección por síndrome y arreglo estándar, Códigos de Hamming, Filosofías de corrección. Sistemas de corrección de error FEC y ARQ, Sistemas de corrección directa o FEC, Sistemas de detección o ARQ. Códigos Cíclicos, Códigos BCH, Códigos Reed-Solomon, Códigos Convolucionales, Códigos turbo, Códigos de paridad de baja densidad.

- **DISPERSION DE LUZ Y OTRAS RADIACIONES POR PARTICULAS PEQUEÑAS**  
(3 UVACs/ 24 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)  
Ecuaciones de Maxwell y parámetros de Stokes. Dispersión de luz por una partícula de forma arbitraria. Dispersión de luz por un sistema de partículas independientes. Teoría de Mie y matriz T. Aproximaciones: Rayleigh-debye-Gans. Dispersión de rayos X, similitudes y diferencias con la dispersión de luz. Aplicaciones de la dispersión de luz: caracterización de estructuras nanométricas por dispersión de rayos X de ángulo pequeño.
- **MECÁNICA DEL SÓLIDO COMPUTACIONAL.**  
(4 UVACs/36 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)  
Conceptos generales. Algebra lineal / Espacios / Espacios de funciones / Dependencia e independencia lineal / Base y dimensión / Producto interno / Completitud / Ortogonalidad / Principio de los trabajos virtuales.  
El Método de los Elementos Finitos unidimensional - Barras Formulación a partir del principio de los trabajos virtuales / Formulación isoparamétrica e integración numérica / Condiciones de contorno / Organización básica de un programa de elementos finitos / Requisitos para la convergencia de la solución.  
El Método de los Elementos Finitos unidimensional - Vigas Vigas esbeltas (Euler-Bernoulli): formulación a partir del principio de los trabajos virtuales / Puntos óptimos para el cálculo de tensiones / Vigas de gran canto (Timoshenko): formulación a partir del principio de los trabajos virtuales / Otros elementos de viga  
Problemas de elasticidad bidimensional. Conceptos de elasticidad bidimensional / Tensión plana y deformación plana / Formulación a partir del principio de los trabajos virtuales / Elementos y funciones de forma / Librería de elementos / Condiciones de contorno / Condiciones de simetría.  
Problemas de elasticidad tridimensional y axisimétricos. Formulación a partir del principio de los trabajos virtuales / Discretización / Librería de elementos / Consideraciones sobre los distintos tipos de elementos.  
Placas y cáscaras. Placas delgadas (Kirchhoff) y de Reissner-Mindlin / Cáscaras / Formulación a partir del principio de los trabajos virtuales / Discretización / Librería de elementos.  
Técnicas de modelado, errores y chequeo de resultados. Cómo planear un modelo / Error numérico: fuentes y detección / Errores comunes / Chequeo de modelos / Crítica de resultados / Convergencia / Estimación de errores / Refinamiento adaptivo.
- **MECÁNICA DEL SÓLIDO COMPUTACIONAL AVANZADA**  
(4 UVACs/36 hs teóricas, 24 hs teórico-prácticas)  
Problemas no lineales. Fuentes de no-linealidades: comportamiento del material, no linealidad geométrica y contacto / Formulaciones en pequeñas y grandes deformaciones / Problemas acoplados / Formulaciones implícita y explícita del Método de los Elementos Finitos / Algoritmos incrementales e iterativos / Condiciones de convergencia y de estabilidad de la solución / Escalado de masa en problemas formulados en forma explícita / Consideraciones al construir un modelo.  
Problemas de vibraciones y dinámicos. Conceptos fundamentales de dinámica del sólido / Vibraciones libres y forzadas / Modos normales / Soluciones en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia / Problemas de impacto / Balance de energías.

Mecánica de Falla y Fractura. Cálculo de parámetros fractomecánicos / Propagación de defectos: elementos cohesivos y X-FEM / Problemas de erosión / Desactivación de elementos.

Materiales compuestos. Conceptos de anisotropía elástica / Modelado de láminas y laminados / Refuerzos / Criterios y mecanismos de falla / Pandeo.

Optimización. Conceptos de optimización estructural / Optimización de forma / Optimización topológica.

- **MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS**  
(6 UVACs/144 horas teórico-prácticas)  
Algebra vectorial y tensorial. Teoremas integrales fundamentales. Tensor de tensiones. Descripciones de Euler y Lagrange. Deformación y velocidad de deformación. Tensor de deformación. Ecuación de continuidad. Ecuaciones de movimiento. Energía. Entropía y disipación. Conservación de la masa, la energía y el momento. Teoría de ecuaciones constitutivas. Elasticidad lineal. Fluidos perfectos y newtonianos. Plasticidad en metales.
- **FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO**  
(4 UVACs/ 36 hs teóricas +36 hs teórico-prácticas)  
Mecánica cuántica, orígenes. La ecuación de Schrodinger. Valores medios y magnitudes observables. Mecánica estadística, el problema de muchos cuerpos. Funciones de distribución. Estructura cristalina, operaciones de simetría. Planos cristalinos e índices de Miller. Red recíproca. Dinámicas de las redes cristalinas, vibraciones elásticas de medios continuos. Propiedades térmicas de cristales, valores específicos, modelos de Einstein y Dable. Propiedades eléctricas y magnéticas de los metales y semiconductores. Propiedades dieléctricas de los sólidos. Defectos puntuales y aleaciones. Dislocaciones.
- **INTRODUCCIÓN A LA REOLOGÍA: VISCOELASTICIDAD DE LÍQUIDOS, SÓLIDOS Y SUSPENSIONES**  
(5 UVACs /42 hs teóricas, 36 hs teórico-prácticas, 6 hs prácticas)  
Sólidos elásticos. Fluidos viscosos. Viscoelasticidad Lineal: Principios de superposición. Relajación de esfuerzos, creep. Viscoelasticidad No-lineal. Reometría. Aplicaciones: Líquidos y sólidos poliméricos, suspensiones, gelación.
- **EPISTEMOLOGIA**  
(4 UVACs/48 hs. teóricas)  
¿Qué es la filosofía de la ciencia y para qué sirve? Algunas nociones preliminares de filosofía del lenguaje, teoría del conocimiento y lógica. El problema de la clasificación de las ciencias: ciencia formal y ciencia fáctica. Objetivos de la ciencia: la comprensión del mundo y su transformación, explicación y predicción. LA puesta a prueba de las hipótesis. Verificación y refutación. La controversia sobre los métodos de la ciencia fáctica. Problemas metodológicos de las ciencias sociales. La función de las leyes generales en la explicación histórica.

**Dr. Guillermo A. LOMBERA**  
Presidente Consejo Académico  
Facultad de Ingeniería-UNMDP