

Iniciado en 060150 - INSTITUTO DE FISICA - INGENIERIA el 04/05/2011

Nº Documento: **060150-000403-11**

Resumen: **Propuesta de Plan de Estudios: DOCTORADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA**  
Tipo de EXPEDIENTE **PLAN DE ESTUDIOS** Trámite **PLAN DE CURSOS**

---

Está en 060150 - INSTITUTO DE FISICA - INGENIERIA desde 04/05/2011 20:14  
Por más información llamar al teléfono 27110905/27115444, de 10:30 a 17:30 hs.

---

Pasa a 061900 - COMISIONES - INGENIERIA el 04/05/2011 20:15  
Motivo del pase: Asesoramiento e informe

Mas datos

Cuerpo

Datos adicionales del expediente

Datos de la Resolución

Documento ingresado al sistema por Amelia Ferrari/INGENIERIA/UDELAR

*0208*

*bleusa ferrari*





**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
COMISIÓN ACADÉMICA DE POSGRADO**

**DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE POSGRADO**

**Nombre del Programa: DOCTORADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA**

Montevideo - 2011



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

### 1. IDENTIFICACIÓN:

#### DE LA CARRERA

Nombre del Programa:

DOCTORADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

Programa (especialización, maestría académica o profesional, o doctorado):

DOCTORADO

#### ÁREA ACADÉMICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área (Instituto/ Grupo/ Núcleo, etc.):

#### Institutos vinculados al Área:

Instituto de Física  
 Instituto de Matemática y Estadística Rafael Laguarda  
 Instituto de Ingeniería Eléctrica  
 Instituto de Ingeniería Química  
 Instituto de Mecánica de Los Fluidos e Ingeniería Ambiental  
 Instituto de Computación  
 Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial

Contacto institucional del Programa

Nombre: SCAPA - Energía

E-mail: [energia@fing.edu.uy](mailto:energia@fing.edu.uy)

Teléfono: 2 711 09 05

**2. UBICACIÓN FÍSICA DEL PROGRAMA**

**Lugar y dirección completa de la sede del programa:**

Facultad de Ingeniería – Julio Herrera y Reissig 565 – 11300 Montevideo - Uruguay

**Nombre y teléfono de un contacto en la Institución Sede:**

Nombre: José Cataldo

Teléfono: 2 711 52 76 int. 220

**Personal, instalaciones, y materiales disponibles para la realización del programa:**

Participan como coordinadores de los cursos 17 docentes nacionales con título de Doctor. Los 5 docentes del exterior que participan como coordinadores de los cursos tienen titulación de doctorado.

Desde el punto de vista edilicio se dispondrán 4 salones de clases para cursos expositivos de posgrado, 2 salones equipados con PC para el dictado de cursos que incluyan la aplicación de herramientas informáticas.

A los efectos de realización de prácticas, la Facultad de Ingeniería cuenta con 4.000 m<sup>2</sup> de laboratorios con equipamientos de materiales diversos, equipos de ensayo escala piloto, túnel de viento, laboratorio de ensayo de luminarias, hornos, microscopios, banco de ensayo de maquinaria mecánica y eléctrica para la medición de eficiencia, entre otros.

En la Biblioteca Central de Facultad de Ingeniería así como en las bibliotecas de los distintos Institutos se disponen de aproximadamente 5000 libros vinculados con temáticas asociadas directa e indirectamente a la energía, se reciben del orden de 10 publicaciones periódicas vinculadas a la temática, se tiene además acceso a través del Portal Timbó ([www.timbo.org.uy](http://www.timbo.org.uy)), a las bases de datos: Science Direct, Springer, Scopus, IEEE, cada una de ellas cuenta con aproximadamente 2.500 títulos de revistas.

### 3. OBJETIVOS DEL PROGRAMA

#### FINALIDAD:

El objetivo general de la carrera de Doctorado es aumentar la generación de los recursos humanos capaces de incorporar y desarrollar conocimientos tecnológicos de primer nivel en el campo de la Energía, que posibiliten el desarrollo productivo del país y permitan adoptar nuevos enfoques que garanticen un uso sustentable de los recursos naturales.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

El objetivo específico de la carrera de Doctorado constituye el nivel superior de formación de posgrado en el área de conocimiento de la Energía. Su objetivo es asegurar la formación de investigadores con un alto nivel, que permita el desarrollo de investigación original en el país, así como la incorporación al mismo de la tecnología más avanzada en ésta área.

#### PERFIL DEL EGRESADO:

El egresado adquirirá una formación superior en el área Energía, que lo capacitará para:

- abordar nuevos temas y tecnologías con profundidad y solvencia, empleando los elementos metodológicos adquiridos en su formación, que le permitirá el desarrollo de investigación original y la creación de nuevo conocimiento científico y tecnológico;
- abordar de manera crítica la bibliografía internacional actualizada en el tema elegido y de acompañar el desarrollo del área, debiendo alcanzar durante el desarrollo de sus estudios de posgrado el estado del arte en la especialidad escogida;
- abordar los aspectos sociales y económicos asociados a la aplicación y utilización de tecnologías energéticas desde una perspectiva que incluya una concepción del desarrollo nacional evaluando el impacto en distintas variables sociales económicas y medioambientales.

### 4. ORGANIZACION Y NORMAS DE FUNCIONAMIENTO

Duración prevista del programa: 4 años para el Doctorado <sup>1</sup>

Número de plazas previstas (incluyendo becas si es aplicable): 30 de Doctorado

Número mínimo de alumnos para realizar el programa: No hay

Requisitos para obtener el título

<sup>1</sup> Reglamento General de las Actividades de Posgrado y Educación Permanente de la Facultad de Ingeniería, Art. 40.



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

**Número de créditos mínimos de Actividad Programada:** 100 para el Doctorado <sup>2</sup>

**Horas presenciales mínimas de Actividad Programada:** 500

**Estructura de la Actividad Programada (fundamentales y técnicas):**

**Materias fundamentales:** Matemática (Estadística, Optimización, Cálculo Numérico), Física (Termodinámica, Electromagnetismo), Transferencia de calor y combustión, Mecánica de los fluidos aplicada, Ingeniería de procesos químicos, físicos y biológicos, Electrotécnia, Investigación Operativa, y Ciencias de la atmósfera.

**Materias tecnológicas especializadas:** Tecnologías de generación de energía, Tecnologías de producción de combustibles, Tecnologías acumulación de energía, Procesamiento de combustibles fósiles, Transporte y distribución de energía, Comercialización de la energía, Logística, Control y simulación de sistemas energéticos, Eficiencia energética, Tecnologías Limpias.

**Materias de Desarrollo y Sociedad:** Regulación legal y económica, Teorías de desarrollo, Ciencias sociales, Impacto ambiental, Planificación Energética, Política Energética.

Mínimo 10 créditos en materias fundamentales, mínimo de 28 créditos en materias tecnológicas especializadas y mínimo de 10 créditos en materias de Desarrollo y Sociedad en el área de la Tesis.

**Tesis:** 150 créditos <sup>3</sup>

**Otros:** -

**Ingreso**

**Perfil de ingreso**

Se reconoce como el perfil más adecuado, una formación de grado en Ingeniería.

**Requisitos de Ingreso**

Podrán acceder al Doctorado quienes posean título de Magíster en Ingeniería de la Energía, otorgado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, u otra Maestría cuya formación en Energía, a juicio de la SCAPA-E, sea suficiente para realizar la carrera de Doctorado. Con carácter excepcional la SCAPA-E podrá recomendar a la CAP de la Facultad de Ingeniería el ingreso a la carrera de Doctorado de candidatos que teniendo el nivel de grado en Ingeniería, demuestren una actividad de carácter científico y/o de innovación tecnológica suficiente y acreditada, que permitan la realización del Doctorado. En éste último caso durante el desarrollo del Doctorado el candidato deberá realizar una actividad programada equivalente a la de la Maestría en Ingeniería de la Energía.

<sup>2</sup> El Reglamento General de las Actividades de Posgrado y Educación Permanente de la Facultad de Ingeniería, Art. 42 establece un mínimo de 85 créditos.

El Reglamento General de las Actividades de Posgrado y Educación Permanente de la Facultad de Ingeniería, Art. 39 menciona que se debe cumplir con un mínimo de 250 créditos entre actividades programadas y tesis.

<sup>3</sup> El Reglamento General de las Actividades de Posgrado y Educación Permanente de la Facultad de Ingeniería, Art. 43 establece un mínimo de 150 créditos.

#### Críterios de selección de los candidatos

Las candidaturas deberán presentarse por escrito ante la SCAPA-E, quien deberá elevar un informe a la CAP sugiriendo la aprobación o no de la candidatura. La admisión tendrá en cuenta los antecedentes del candidato, pudiéndose realizar una entrevista a los aspirantes para complementar la información presentada.

La SCAPA-E recomendará el ingreso a la carrera de Doctorado de aquellos candidatos que a su juicio posean el nivel de conocimientos y los antecedentes académicos que habiliten la culminación exitosa de la carrera. En aquellos casos que lo juzgue conveniente y como requisito adicional la SCAPA podrá proponer la realización de un examen de ingreso al Doctorado. La CAP resolverá la admisión de cada candidato sobre la base de los antecedentes del mismo y el informe de la SCAPA-E.

Junto con el ingreso del estudiante al Doctorado, la CAP designará un Director Académico del estudiante, quién le orientará durante la duración de la carrera y será responsable ante la institución del desarrollo, tanto de los diferentes aspectos de la Actividad Programada, cuando corresponda, como de la tesis. El Director Académico deberá ser propuesto por el estudiante o en su defecto por la SCAPA-E, debiendo satisfacer las condiciones académicas establecidas en los artículos 21 y 22 de la Ordenanza de las Carreras de Posgrado de la UDELAR. Para la designación del Director Académico se deberá contar previamente con el consentimiento expresado por escrito del docente involucrado.



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

| Nombre/titulación/instituto | Horas aula anuales dedicadas al programa | Nº previsto de candidatos a orientar | Horas anuales de otras actividades vinculadas al programa |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 01. Gonzalo Abal            | 40                                       | 1                                    | 60  |
| 02. Reto Bertoni            | 20                                       |                                      | 10  |
| 03. Aldo Bologna            | 30                                       |                                      |   |
| 04. Liliana Borzacconi      | 40                                       | 1                                    | 10  |
| 05. Gonzalo Casaravilla     | 40                                       | 1                                    | 20  |
| 06. José Cataldo            | 40                                       | 1                                    | 60  |
| 07. Pedro Curto             | 50                                       | 1                                    | 60  |
| 08. Enrique Dalchiele       | 30                                       |                                      |   |
| 09. Verónica Díaz           | 40                                       | 1                                    |   |
| 10. Horacio Failache        | 40                                       | 1                                    |   |
| 11. Jorge Freiria           | 40                                       | 1                                    |   |
| 12. Elizabeth González      | 40                                       |                                      |   |
| 13. María Antonia Grompone  | 40                                       | 1                                    | 10  |
| 14. Pedro Lacava            | 40                                       | 1                                    | 10  |
| 15. Claudia Lareo           | 20                                       | 1                                    |   |
| 16. Graciela Lesino         | 10                                       |                                      |   |
| 17. José Luz                | 15                                       |                                      |   |

| Nombre/titulación/instituto | Horas aula anuales dedicadas al programa | Nº previsto de candidatos a orientar | Horas anuales de otras actividades vinculadas al programa |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 18. Alejandro Medina        |  |                                      |   |
| 19. Carlos Padovezi         | 30                                       |                                      |   |
| 20. Marco Scavino           | 40                                       |                                      |   |
| 21. Mario Vignolo           | 40                                       | 1                                    | 20  |
| 22. Fernando Zinola         | 40                                       |                                      |   |



6. CURRÍCULA

Asignatura nº 01      Energía Solar

Responsable de la asignatura: Dr. Gonzalo Abal.  
Instituto:      Física

Nº de Créditos: 6      Cupos: No

Horas Presenciales: 45

**Objetivos:** Describir los mecanismos básicos determinantes para la conversión eficiente de energía solar en energía térmica utilizable. Describir en detalle algunas aplicaciones tecnológicas de interés para las condiciones climáticas de nuestro país. Aportar métodos simples para estimar la eficiencia y el análisis económico para este tipo de dispositivos.

**Conocimientos previos exigidos:**  
Termodinámica de sistemas abiertos

**Metodología de enseñanza:**  
Se dictarán clases teóricas y clases prácticas de resolución de ejercicios de aplicación

**Forma de evaluación:**  
1) Monografía sobre un tema a determinar, con defensa y presentación oral.  
2) Examen oral sobre los contenidos del curso.

**Temario:**

- Radiación Solar. Movimiento del sol. Efecto de la atmósfera. Radiación directa y difusa. Medidas de radiación. Estimación de la radiación incidente en una superficie plana horizontal e inclinada.
- Fundamentos de Transferencia de calor. Conducción térmica. Radiación. Superficies grises. Convección natural y forzada. Transmisión de radiación a través de placas de vidrio.
- Colectores planos. Balance térmico. Distribución de temperaturas. Medidas de performance.
- Colectores concentradores (CC). CC de Torre central. CC Parabólico lineal. CC individual con ciclo Stirling. CC lineal con óptica de Fresnel. Performance comparativa.
- Almacenamiento de energía térmica. Tanques de agua. Estratificación. Otros materiales. Almacenamiento estacional.
- Otras aplicaciones. Sistemas de calentamiento/enfriamiento ambiental. Calentamiento solar para proceso industriales.
- Análisis de desempeño de sistemas solares térmicos. Estimación de carga. Modelos y simulaciones. Elementos de análisis económico.

**Bibliografía:**

- Solar Engineering of Thermal Processes, John A. Duffie and William A. Beckman, John Wiley and Sons, 2006, ISBN: 13-978-0-471-69867-8
- Solar radiation and daylight models, T. Muneer, Elsevier, 2004, ISBN 0-7506-5974-2
- Solar Energy: Principles of Thermal Collection and Storage, 3ed, S. P. Sukhatme, J. K. Nayak, Tata McGraw Hill Publishing Co., Nueva Delhi, ISBN 0-07-014-296-3
- Solar Thermal Energy: Fundamentals And Experiments, H. P. Garg, T. C. Kandpal, Alpha Science International, Ltd; 1 edition (January 2005), ISBN 978-1842651520
- Solar Energy: Fundamentals, Design, Modeling and Applications, G.N. Tiwari , Narosa Publishing House, Nueva Delhi, 2004, ISBN 81-7318-450-5



**Asignatura nº 03 : Fenómenos de Combustión**

Responsable de la asignatura: Dr. Pedro Lacava.

Instituto: Instituto Tecnológico Aeronáutico (ITA), Brasil

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 30

**Objetivos:**

Familiarizar al estudiante con los procesos combustión y presentar herramientas de análisis de calculo asociado a la dinámica de llama.

**Conocimientos previos exigidos:**

Termodinámica.

**Metodología de enseñanza:**

Se dictarán clases teóricas y clases prácticas de resolución de ejercicios de aplicación. En las clases de ejercicios se utilizarán herramientas de cálculo computacional para el modelado de la combustión.

**Forma de evaluación:**

Ejercicios y trabajo final.

**Temario:**

1) Termoquímica - Balance de Masa y Energía:(reacción de combustión estequiométrica, con exceso y deficiencia de oxígeno, análisis de productos de la combustión) e conservación de energía (entalpía absoluta, de formación, sensible,de combustión y poder calorífico, temperatura de llama adiabática. 2) Termoquímica – Equilibrio Químico: segunda ley de termodinámica, función de Gibbs, equilibrio para combustión rica, equilibrio con reacciones simultáneas, uso de softwares. 3) Cinética Química: reacciones elementares, reacciones reversibles, reacciones en cadena, mecanismos simplificados. 4) Análisis de Reactores de Flujo Continuo: reactor con mezcla homogénea y reactor tubular. 5) Llamas premezcladas, estructura de una llama premezclada, modelo simplificado para cálculo de velocidad de llama, laminar, métodos de medida de velocidad de llama, límites de inflamabilidad, introducción a llama premezclada turbulenta. 6) Llamas Difusivas: características fundamentales (aspectos conceptuales, resultados experimentales), modelo para cálculo de longitud de llama, llamas parcialmente premezcladas, modelo de llama difusiva para quema individual de gotas, llama difusiva de sprays.

**Bibliografía:**

1. VanWylen, G.J., Sonntag, R.E.; *Fundamentos da Termodinâmica Clássica*, Edgard Blucher, 2ª edição, 1989.
2. Turns, S.R.; *An Introduction to Combustion, Concepts and Applications*, McGraw-Hill, 1996.
3. Borman, G.L., Ragland, K.W.; *Combustion Engineering*, McGraw – Hill, 1998.
4. Strehlow, R.A.; *Combustion Fundamentals*, McGraw-Hill, 1984.
5. Keating, E.L.; *Applied Combustion*, 1993.

**Asignatura nº 04: Fundamentos de Celdas Fotovoltaicas.**

Responsable de la asignatura: Dr. Enrique Dalchiele

Instituto: Física

Nº de Créditos:

6

Cupos: no

Horas Presenciales:

30

**Objetivos:**

El objetivo del curso es introducir en la física e ingeniería de los dispositivos fotovoltaicos. Se pretende que los participantes comprendan claramente el fenómeno fotovoltaico en diversas estructuras sobre materiales cristalinos, policristalinos y amorfos. Además sabrán caracterizar y también diseñar celdas solares, así como interpretar sus figuras de mérito más importantes, tales como corriente de corto-circuito, voltaje de circuito abierto, factor de llenado, eficiencia, entre otros. Se prevé la asistencia a laboratorios a los efectos de tomar contacto con dispositivos reales. Al final del curso los participantes deberán ser capaces de realizar un trabajo en profundidad de un tópico específico que se les propondrá.

**Conocimientos previos exigidos:**

Electromagnetismo y Termodinámica.

**Metodología de enseñanza:**

El curso consistirá de clases semanales. Se sustituirán algunas de dichas clases por demostraciones de laboratorio o vistas de campo. Posteriormente los participantes deberán realizar un trabajo en grupos de dos personas, bajo la supervisión de los docentes.

**Forma de evaluación:**

Examen final o una evaluación continua a lo largo del curso.

Trabajo (monografía) que deberá ser entregado al final del semestre y presentado oralmente al resto de los participantes.

**Temario:**

I Introducción. Breve Revisión del Efecto Fotovoltaico.

II Radiación Solar.

III Revisión de Propiedades de Transporte en Semiconductores.

IV Procesos de Generación y Recombinación.

V Caracterización de Celdas Solares.

VI Límites de Eficiencia y Pérdidas.

VII Tecnología Estándar de Celdas Solares de Silicio.

VIII Nuevos Acercamientos a la Fabricación de Celdas Fotovoltaicas.

IX Utilización de Paneles Fotovoltaicos.

**Bibliografía:**

M. A. Green, *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*, Prentice-Hall series in solid state physical electronics, 1982, ISBN 0-13-822270-3.

J. Nelson, *The Physics of Solar Cells*, Imperial College Press, 2003, ISBN 10-186-0-943497.

M A. Green, *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*, Springer Series in Photonics, 2003, ISBN 3-540-40137-7.

S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, John Wiley & Sons, 1981, ISBN 0-471-05661-8.

J. P. McKelvey, *Física del Estado Sólido y de Semiconductores*, Limusa, 1994, ISBN 968-18-0431-7.

Antony, Falk, Dürschner, Christian, Remmers y Karl-Heinz. *Fotovoltaica para profesionales: diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas*, 2006, ISBN: 978-84-95693-35-8



# Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

## Asignatura nº 05: Estadística Multivariada Computacional

Responsable de la asignatura: : Dr. Marco Scavino

Instituto: Instituto Matemática y Estadística Rafael Laguarda

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 30

### Objetivos:

Introducir la metodología de las principales técnicas clásicas de la estadística multivariada y de sus modernas variantes así como su implementación con conjuntos de datos reales. Acercar el estudiante al empleo de los paquetes para el análisis estadístico de datos disponibles en el ambiente de desarrollo de software libre R

### Conocimientos previos exigidos:

Introducción a la probabilidad y estadística, álgebra lineal, cálculo matricial.

**Metodología de enseñanza:** El estudiante aprobará el curso a través de la entrega de ejercicios previamente acordados con el docente. También se valorará (15%) la participación activa del estudiante durante las clases.

Horas directas de clases teórico-prácticas: 40 hs. (20 clases de 2 hs cada una). Horas de estudio estipuladas por el docente para realizar la entrega de los ejercicios domiciliarios: 50 hs.

### Forma de evaluación:

Ejercicios y trabajo final.

### Temario:

- Regresión lineal múltiple (repaso).
- Regresión lineal multivariada.
- Reducción lineal de la dimensionalidad (análisis en componentes principales).
- Análisis discriminante lineal.
- Técnicas de clasificación (análisis de cluster)
- Tópicos en escalamiento multidimensional.
- Análisis de correspondencias.

### Bibliografía:

- Modern Multivariate Statistical Techniques, Alan Julian Izenman, Springer, ISBN 978-0-387-78188-4, 2008.
- An R and S-Plus ® Companion to Multivariate Analysis, Brian S. Everitt, Springer, ISBN 1-85233-882-2, 2005.
- Otras referencias bibliográficas serán indicadas durante el curso.

**Asignatura nº 06: Tecnología Solar Térmica**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. Graciela Lesino

Instituto: Universidad Nacional de Salta (UNSA) Argentina

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 30

**Objetivos:**

Proveer a los maestrandos de los conceptos básicos y de las herramientas de cálculo que les permitan evaluar la adecuación del recurso, de los equipos y de los sistemas y realizar su predimensionamiento para suministrar, por vía solar, cierto requerimiento de energía térmica en una localización dada y con una idea general de su costo.

**Conocimientos previos exigidos:**

Termodinámica.

**Metodología de enseñanza:**

El curso consistirá de clases semanales. Se sustituirán algunas de dichas clases por demostraciones de laboratorio o vistas de campo. Posteriormente los participantes deberán realizar un trabajo en grupos de dos personas, bajo la supervisión de los docentes.

**Forma de evaluación:**

Resolución de problemas y desarrollo de trabajos experimentales. Resolución de problemas. Ejemplos de trabajos experimentales.

**Temario:**

Radiación extraterrestre. Aspectos geométricos. Radiación solar disponible en la Tierra. Radiación directa y difusa, horaria, diaria, anual. Aspectos geométricos. Modelos y programas. Medición de la radiación. Instrumental. Ejemplos de colectores solares planos, concentradores y colectores con acumulación. Cubiertas. Propiedades ópticas de cubiertas transparentes. Transmisividad de distintos materiales. Cubiertas mejoradas: aplicación de distintos tipos de capas. Absorbedores y sus propiedades. Superficies selectivas. Ecuación térmica de los colectores planos calentadores de agua y de aire. Materiales reflejantes, sus propiedades. Ecuación térmica de los concentradores. Colectores de agua con acumulación. Pozas Solares. Ecuación térmica. Aplicaciones. Información sobre costos. Acumulación térmica como energía sensible, por cambio de fase, en sólidos y líquidos según la temperatura máxima del acumulador. Ejemplos de generación eléctrica solar térmica.

**Bibliografía:**

Solar Engineering of Thermal Processes, John A. Duffie & William A. Beckman 3ª edición. Wiley Interscience, New York. (2006)

Principles of Solar Engineering, D. Yogi Goswami, Taylor & Francis; 1st edition (January 1, 2000)  
[http://www.nrel.gov/solar\\_radiation/](http://www.nrel.gov/solar_radiation/) 17 de octubre de 2007 página web con información del recurso, modelos e instrumental.

Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art, Ed. Matheos Santamouris, 2003,

Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Frank P. Incropera & David P. DeWitt, John Wiley & Sons, Inc 1996, ISBN 0 - 471 - 30460 - 3

Entropy Generation Minimization - Adrian Bejan, CRC Press, Boca Ratón, USA, 1996,

Endorversible Thermodynamics of Solar Energy Conversion - Alexis De Vos, Oxford University Press, New York, USA, 1992, ISBN 0 19 851392 5.

Salinity-Gradient Solar Ponds J.R. Hull, C.E. Nielsen & P. Goldig, CRC Press, Boca Ratón, USA, 1989, ISBN 0-8493-6914-2.

**Asignatura n° 07: Solar Fotovoltaica conectada a la red o en sistemas autónomos**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. Gonzalo Casaravilla

Instituto: Ingeniería Eléctrica.

N° de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 20

**Objetivos:** Presentar el estado del arte en tecnologías asociadas a la utilización de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores de pequeño porte. Al cabo del curso el estudiante habrá adquirido los conocimientos básicos necesarios a los efectos de especificar, diseñar, instalar y operar en sistemas autónomos híbridos (solar-eólicos) o en parques de energía solar fotovoltaica conectados a la red eléctrica.

**Conocimientos previos exigidos:**

Matemática, Física, Química, Energía Solar.

**Metodología de enseñanza:**

El curso consistirá de 2 clases semanales de 2 horas durante 4 semanas y la posterior resolución de problemas en consulta con los docentes de la asignatura. Se estima un tiempo de consultas de 4 horas.

**Forma de evaluación:**

Realizar un trabajo en el que deberán resolver una serie de ejercicios en grupos de a lo sumo dos personas. La dedicación horaria estimada para la realización del trabajo es de 30 horas.

**Temario:**

Energía fotovoltaica en el Mundo. Energía fotovoltaica y el Uruguay. Irradiación Solar en el Mundo y en Uruguay. Obtención de datos horarios a partir de diarios. Angulo de inclinación óptimo de paneles fijos. Componentes de sistemas fotovoltaicos. Celdas solares, Historia, Teoría de Funcionamiento, Curva característica, Tecnologías disponibles y en fase de investigación, Montaje, Curvas características, Alternativas de conexionado de paneles solares, Sombras, Baterías, Funcionamiento, Tecnologías y utilización. Reguladores (Controladores) de carga y descarga de Baterías Funcionamiento y dimensionado Inversores (convertidores DC/AC) Funcionamiento y dimensionado Instalaciones y Protecciones Parques fotovoltaicos conectados a la red eléctrica Dimensionado, Tecnologías de conexión a la red, Topologías autónomas híbridas solar-eólica, Uso de programas de simulación,

**Bibliografía:**

Fotovoltaica para Profesionales. Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas. Falk Anthony, Karl-Heinz Remmers, Christian Dürschner. PROGNSA. 2006  
Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos (Vol. II). Eduardo Lorenzo., 2006.  
Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica. Miguel Alonso Abella, Urbano J. Escudero Díaz, Sinuhé Lozano Polo., 2001.  
Handbook of Batteries (3rd edition). David Linden, Thomas B. Reddy., 1995.  
Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications . M. A. Green, Prentice-Hall series in solid state physical electronics, 1982.  
The Physics of Solar Cells . J. Nelson. Imperial College Press., 2003.  
Photovoltaic Energy Systems Design and Installation. M. Buresch. McGraw-Hill., 1983.  
Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business, Paul Gipe. Wind Power., 2004.

**Asignatura nº 08: Energía Eólica**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. José Cataldo

Instituto: Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 30

**Objetivos:** : Introducir al estudiante en la descripción del parámetro viento, la evaluación del potencial eólico, la descripción de la tecnología destinada a la conversión de la energía eólica y a las técnicas de micro localización de parques. Se busca asimismo, introducir al estudiante en algunas técnicas destinadas a la predicción del recurso eólico.

**Conocimientos previos exigidos:**

Mecánica de los Fluidos.

**Metodología de enseñanza:**

El curso consistirá en clases teóricas y prácticas y la posterior resolución de problemas en consulta con los docentes de la asignatura.

**Forma de evaluación:**

Realizar un trabajo final.

**Temario:**

- 1 - Introducción a la Energía Eólica
- 2 – Viento y turbulencia atmosférica
- 3 – Aspectos de la meteorología y de la climatología vinculados al viento
- 4 – Descripción de los aerogeneradores
- 5 – Evaluación del Potencial eólico
- 6 – Estudio de viabilidad y factibilidad del uso de la energía eólica
- 7 – Microlocalización de parques eólicos
- 8 – Aspectos ambientales de la energía eólica
- 9 – Técnicas de predicción del recurso eólico

**Bibliografía:**

Energie Eolienne. Théorie, conception et calcul pratique des installations" 10<sup>o</sup> Edition, Désiré Le Gourieres EYROLLES, Paris, Francia, 1982.

"Principios de Conversión de la Energía Eólica. 2<sup>o</sup> Edición," CIEMAT, Serie Ponencias, Madrid, España, 1997

"Sistemas Eólicos de producción de energía eléctrica", Rodríguez Amenedo, J.L., Burgos Díaz, J.C. y Arnalte Gómez, S., Editorial Rueda SRL, Madrid, 2003, ISBN 84-7207-139-1

"Wind Power Plants, Fundamentals, Design, Construction and Operation". R. Gasch, J. Tvele, 2002.

"Wind and Wind System, Performance". C. G. Justus. THE FRANKLIN INSTITUTE PRESS, USA. 1978

"Wind turbine generator systems: Safety requirements", 2<sup>o</sup> Edición. IEC 61400-1 1999-02.

"Wind turbine generator systems. Wind turbine power performance testing". 1<sup>o</sup> Edición. IEC 61400-12, I 1998-02.



# Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

**Asignatura nº 09: Tecnología de Combustión de Biomasa y Cogeneración.**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. José Luz  
Instituto: Universidad Estadual de San Pablo (UNESP)  
Nº de Créditos: 6  
Horas Presenciales: 30

Cupos: no

**Objetivos:** Presentar las principales tecnologías de combustión de biomasa, y generar herramientas para el diseño y selección de sistemas de cogeneración.

**Conocimientos previos exigidos:**  
Mecánica de los Fluidos.

**Metodología de enseñanza:**  
El curso consistirá en clases teóricas y practicas y la posterior resolución de problemas en consulta con los docentes de la asignatura.

**Forma de evaluación:**  
Realizar un trabajo final.

**Temario:**  
Introducción conceptual de la cogeneración. Aspectos básicos de la combustión de biomasa y de la cogeneración: regimenes y estrategias operacionales. Parámetros para la selección de ciclos. Ciclos térmicos disponibles y tecnologías emergentes. Consumos específicos e razón (potencia /calor) de diferentes máquinas térmicas. Aspectos de costos de inversión e operacionales de máquinas térmicas; Modelos analíticos para la planificación operacional de centrales de cogeneración; Costos de cogeneración; Viabilidad técnica y económica de proyectos de cogeneración; Aspectos Institucionales.; Modelos de optimización para la planificación operacional y predimencionamiento de centrales de cogeneración. Aplicaciones a industrias químicas e papel/celulosa.

**Bibliografía:**  
HU, D. Cogeneration. Reston, Reston Publ., 1985.  
HORLOCK, J.A. Cogeneration: combined heat and power. Exeter, Pergamon Press, 1987.  
BALESTIERI, J.A.P. Planejamento de centrais de co-geração: uma abordagem multiobjetiva. Campinas, tese (doutorado), UNICAMP, 1994.  
SILVEIRA, J.L. Cogeração disseminada para pequenos usuários: estudo de casos para o setor terciário. Campinas, tese (doutorado), UNICAMP, 1994.  
SILVEIRA, J.L. Estudo de sistema de cogeração aplicado a indústria de papel e celulose. Itajubá, dissertação (mestrado), 1990

**Asignatura nº 10: Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. Gonzalo Casaravilla

Instituto: Ingeniería Eléctrica

Nº de Créditos:

6

Cupos: no

Horas Presenciales:

30

**Objetivos:** Aprender los detalles de la optimización de los recursos energéticos del país, cómo simularlos y como calcular los costos de generación y los ingresos de los proyectos de generación de energía eléctrica. Aprender el uso de la herramienta de simulación SimSEE.

**Conocimientos previos exigidos:** Conocimientos básicos de ingeniería. Contacto con alguna herramienta de programación.

**Metodología de enseñanza:**

Se dictarán clases teóricas y clases prácticas de resolución de ejercicios de aplicación

**Forma de evaluación:**

Monografía con estudio de caso. Implica armar un sistema y simularlo para obtener resultados y hacer un análisis

**Temario:**

Introducción a la simulación de sistemas dinámicos. / Modelado y Simulación / Técnicas de Modelado Orientada por los Objetos / Simulación y Política de Operación de los Embalses / Descripción del Sistema y Mercado Eléctrico / Sistema Físico Generación, Transmisión y Distribución / Despacho de ENERGÍA / Simulación y Política de Operación de los Embalses / Disponibilidad de POTENCIA / COSTOS DE FALLA / Interconexiones Internacionales / Mercados de OCASION y CONTRATOS / TECNICAS DE MODELADO Y SIMULACION / Simuladores y Despacho Óptimo / DETALLES DE LA IMPLEMENTACION SOFTWARE / Modelado de series aleatorias / Algoritmos de optimización.

**Bibliografía:**

- [ 1] B.G.GORENSTIN N.M.CAMPODONICO J.P.COSTA M.V.F.PEREIRA. STOCHASTIC OPTIMIZATION OF A HYDRO-THERMAL SYSTEM INCLUDING NETWORK CONSTRAINTS. Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 2. May 1992.
- [ 2] Yoshiro Ikura George Gross. EFFICIENT LARGE-SCALE HYDRO SYSTEM SCHEDULING WITH FORCED SPILL CONDITIONS. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 12, December 1984.
- [ 3] M.V.F. Pereira and L.M.V.G. Pinto. A DECOMPOSITION APPROACH TO THE ECONOMIC DISPATCH OF HYDROTHERMAL SYSTEM. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 10 October 1982 3851.
- [ 4] Suvrajeet Sen. "Stochastic Programming: Computational Issues and Challenges". Encyclopedia of OR/MS, S. Gass and C. Harris (eds.)
- [ 5] Bellman, R. Dynamic Programming, Princeton University Press, 1957.



**Asignatura nº 12: Celdas de Combustibles (Conversión electroquímica de energía)**

Responsable de la asignatura: Dr. Fernando Zinola,

Instituto: Facultad de Ciencias UdelaR

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 40

**Objetivos:** Desarrollar en los estudiantes la capacidad de comprensión de las posibilidades y alcances del hidrógeno molecular como combustible químico y electroquímico para dispositivos de pequeño y mediano porte.

**Conocimientos previos exigidos:** Química

**Metodología de enseñanza:** Clases teóricas y practicas.

**Forma de evaluación:**

Examen o Trabajo Final.

**Temario:**

Celdas de combustible, ultracapacitores; electrocatalizadores. Combustibles renovables y no renovables. Hidrógeno, metanol, gas natural y biocombustibles. Conceptualización en celdas de combustible. Diseño de catalizadores. Diseño de placas bipolares y difusores de gases. Ingeniería de celdas y distribución de corriente y potencial. Máquinas para conversión electroquímica de energía. Fluidodinámica en diseño de reactores electroquímicos.

**Bibliografía:**

- "Electrocatalysis" edited by Jacek Lipkowski and Philip N. Ross, ISBN: 0471246735.
- "Interfacial Electrochemistry: Theory, Experiment, and Applications," edited by Andrzej Wieckowski, "Electrochemical Surface Science: Molecular Phenomena at Electrode Surfaces," edited by Manuel P. Soriaga, ISBN: 0841215421.
- "Solid-Liquid Electrochemical Interfaces," edited by Gregory Jerkiewicz, Manuel P. Soriaga, Kohei Uosaki, and Andrzej Wieckowski, ISBN: 0841234809.
- "Surface Electrochemistry: A Molecular Level Approach," by John O'M. Bockris and Shahed U.M. Khan,
- "Fuel Cell Systems Explained", by James Larminie & Andrew Dicks, J. Wiley & Sons,
- Industrial Electrochemistry - Second Edition by D. Pletcher & F.C. Walsh ISBN: 0412304104
- A Comprehensive Treatise of Electrochemistry, Vol 2, (J. O'M. Bockris, B. R. Conway, E .B. Yeager & R. E. White, eds.) Plenum Press, New York London ISBN: 0-306-40503-2
- "Fuel Cell Handbook" by National Energy Technology Laboratory U.S. Departement of Energy Office, University Press of the Pacific

**Asignatura n° 13: Biogas**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. Liliana Borzacconi

Instituto: Ingeniería Química

N° de Créditos:

6

Cupos: no

Horas Presenciales:

40

**Objetivos:** Brindar los elementos necesarios para la comprensión de sistemas anaerobios para el tratamiento de residuos líquidos y sólidos con producción de biogás.

**Conocimientos previos exigidos:** Conocimientos básicos de química; microbiología, reactores químicos

**Metodología de enseñanza:** Exposiciones teóricas y discusión de casos prácticos.

**Forma de evaluación:**

Examen escrito

**Temario:**

Etapas de la digestión anaerobia, bases microbiológicas y cinéticas. Principios básicos de reactores.

Indicadores de potencial en industria. Principios y parámetros básicos para el diseño de reactores.

Experiencia de proyectos específicos. Biogás de relleno sanitario

Hidrógeno

**Bibliografía:**

Tratamiento Anaerobio – III Taller y Seminario Latinoamericano – Editores: Viñas, Borzacconi, Soubes, Muxi – Ed. UdelAR – 1994.

Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes – Eds.: Malina, Pohland – Ed. Technomic Publishing, Co., Inc., - ISBN 87762-942-0, 1992.

Avances en biotecnología ambiental: tratamiento de residuos líquidos y sólidos, Ed. R. Chamy – Ediciones Universitarias de Valparaíso – ISBN 956-17-0341-6, 2003.

Tratamiento anaerobio de residuos, producción de biogás – S. Montalvo, L. Guerrero – Ed. U. Técnica F. Santa María – 2004.

Gestión integral de residuos sólidos – G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil – Ed. Mc.Graw-Hill – ISBN 84-481-1766-2, 1994.

Artículos específicos publicados en revistas científicas tales como Water Science and Technology, Environmental Technology, Bioresource Technology, etc.

**Asignatura n° 14: Biodiesel**

Responsable de la asignatura: Dra. Maria Antonia Grompone,

Instituto: Ingeniería Química

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 30

**Objetivos:** Desarrollar en los estudiantes la capacidad de comprensión de las posibilidades y alcances del hidrógeno molecular como combustible químico y electroquímico para dispositivos de pequeño y mediano porte.

**Conocimientos previos exigidos:** Química

**Metodología de enseñanza:** Clases teóricas y practicas.

**Forma de evaluación:**

Examen o Trabajo Final.

**Temario:**

Generalidades sobre el biodiesel. Materias primas lipídicas. Posibles materias primas para la fabricación de biodiesel. Materias primas alcohólicas. Tecnología de la producción de biodiesel. Métodos alternativos de producción. Principios básicos de diseño de una planta de biodiesel. Propiedades del biodiesel. Aspectos ambientales vinculados al biodiesel. Glicerina como subproducto. Marco Regulatorio del Uruguay. Producción de biodiesel en el Uruguay

**Bibliografía:**

1. Bockish, M. "Fats and Oils Handbook", AOCS Press, 1998.
2. Reaney, M. J. T.; Hertz, P. B. and McCalley, W. W., "Vegetable Oils as Biodiesel", capítulo 6 del volumen 6 del libro "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", Ed. Fereidoon Shahidi, 6th Edition, Wiley (2005).
3. Knotte, G; Gerpen, J.V., Krahl, J., "The Biodiesel Handbook", 2004.
- 4.- Mittelbach, M., Remschmidt, C., "Biodiesel: The Comprehensive Handbook", 2nd edition, published by M. Mittelbach, University of Graz, Austria (2005).
- 5.- Gunstone, Frank D.; Hardwood, John L. and Dijkstra, Albert J. "The lipid handbook", 3rd edition, CRC Press (2007)

**Asignatura nº 15: Eficiencia energética de las instalaciones y los equipamientos eléctricos**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. Mario Vignolo

Instituto: Ingeniería Eléctrica

Nº de Créditos: 6

Cupos: no

Horas Presenciales: 30

**Objetivos:** Proveer a los participantes del curso de un entendimiento completo del concepto de eficiencia energética y de las distintas tecnologías que permiten su logro evitando el desperdicio de energía.

**Conocimientos previos exigidos:** Matemática, Física y Electrotécnica

**Metodología de enseñanza:** Se dictarán clases teóricas y clases prácticas con estudio de casos

**Forma de evaluación:**

Prueba escrita final.

**Temario:**

Energía: conceptos y fundamentos. Energía y medio ambiente. Equipamiento y etiquetado energético. Auditoría energética. Tarifación de la energía eléctrica. Análisis económico en la conservación de la energía. Iluminación. Accionamientos con motores de inducción trifásicos. Calidad de la energía eléctrica. Inversores de frecuencia. Eficiencia en la red y generación distribuida

**Bibliografía:**

Itajubá, MG: FUPAI, 2001. Moreira Santos, Alfonso H. et al. Conservação de Energia. Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos

**Asignatura nº 17 Mercados de energía eléctrica**

Responsable de la asignatura: Dr. Ing. Mario Vignolo

Instituto: Ingeniería Eléctrica

Nº de Créditos: 6

Cupos: 20

Horas Presenciales: 30

**Objetivos:** Proveer a los participantes del curso de un entendimiento de los principios básicos de funcionamiento de los mercados eléctricos, considerando ejemplos prácticos a nivel mundial y el caso particular de la re-estructuración del sector eléctrico en el Uruguay y su adecuación a la realidad nacional.

**Conocimientos previos exigidos:**

Egresado o estudiante avanzado de nivel universitario

**Metodología de enseñanza:**

Se dictarán clases teóricas y clases prácticas con estudio de casos

**Forma de evaluación:**

Prueba escrita final.

**Temario:**

- El Sector Eléctrico. Generación, Trasmisión, Distribución y Suministro de energía eléctrica. La energía como producto y el transporte como servicio. Generación y Suministro como etapas competitivas. Trasmisión y Distribución como monopolios naturales.
- Desregulación y Cambio de Propiedad. La Matriz de Estructura/Propiedad. La Nueva Industria Eléctrica en el Mundo. Causas de los cambios en el sector y resultados. Mercados de contratos y Mercado Spot. La competencia en el mercado vs. la competencia por el mercado. El modelo de comprador único. Ejemplos internacionales. El caso de Uruguay y su adecuación a la realidad nacional.
- Necesidad de un marco normativo. Diseño de las reglas para las etapas competitivas y la regulación de los monopolios naturales. Regulación de la Distribución y de la Trasmisión de Energía Eléctrica. Peajes por el uso de las redes.
- El Futuro del Sector Eléctrico. Generación Distribuida y fuentes renovables de energía. Nuevas Tecnologías de Generación. Presentación de Proyectos dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.

**Bibliografía:**

- S. Hunt y G. Shuttleworth (1996). Competition and Choice in Electricity.
  - L. Philipson, H. Lee Willis (1998). Understanding Electric Utilities and De-Regulation. Marcel Deker, Inc.
  - H. Lee Willis, W. G. Scott. (2000) Distributed Power Generation. Planning and Evaluation. Marcel Deker, Inc.
- Varian. Microeconomía Intermedia.



### 7. INFORMACIONES COMPLEMENTARIAS

#### Antecedentes del Programa

Año de comienzo de actividades:

Detalle de actividades  
Año de ingreso  
Aspirantes ingresados  
Avance cursos (%)  
Avance tesis (%)  
Abandonos  
Egresados

Otras informaciones pertinentes:

### 8. SUB-COMISIÓN ACADÉMICA DEL ÁREA

Montevideo, 17 de julio de 2011.

Sres.  
Comisión Académica de Posgrado  
Facultad de Ingeniería

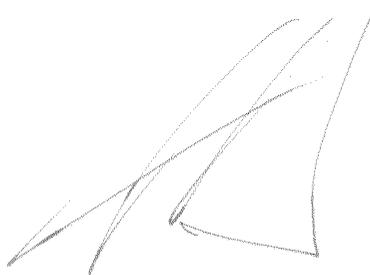
Enviamos, a consideración de ustedes, la propuesta del Plan de Estudios del Doctorado en Ingeniería de la Energía.

Quedamos a la orden por cualquier aclaración que sea necesaria.

Cordialmente,



Dr. Gonzalo Abal



Dr. Ing. José Cataldo



Dr. Ing. Pedro Curto

Ing. Alejandro Gutiérrez

MSc. Ing. Quim. Jorge Martínez

