

Formulario de Aprobación Curso de Actualización 2014

**Asignatura : VIII CURSO HISPANOAMERICANO DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**Responsable de la asignatura<sup>1</sup>:** Dr. Ing. Luis Silveira, Gdo. 5 DT, IMFIA

(título, nombre, grado, Instituto)

**Otros docentes de la Facultad:** Ing. M.Sc. Jorge de los Santos, Gdo. 4, IMFIA; Ing. Daniel Schenzer, Gdo. 4, IMFIA; Dr. Marcos Musso, Gdo. 3, IET

(título, nombre, grado, Instituto)

**Docentes fuera de Facultad:** ARAGUAS, Luis PhD. en Geoquímica, OIEA; BATISTA, Eduardo Ing. Industrial, Profesor CIHS, Barcelona – España; CARRERA, Jesús Dr. Ing. Caminos, CSIC, Barcelona – España; CUSTODIO, Emilio Dr. Ing. Ind., Barcelona – España; GAMAZO, Pablo Dr. Ing., Departamento del Agua, R.N. UdelaR, Uruguay; MANZANO, Marisol Dra. en Cs. Geológicas, U. P. de Cartagena, España; SILVA, Rosario Abogada, Consultora, Uruguay; VÁZQUEZ-SUÑÉ, Enric Dr. C. Geológicas, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios Del Agua (IDAEA), CSIC, Barcelona, España.

(título, nombre, cargo, Institución, país)

**Instituto:** Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)

**Departamento:** Mecánica de los Fluidos – Sección Hidrología - Clima

**Fecha de inicio y finalización:** 29 de setiembre al 6 de diciembre de 2014

**Horas Presenciales:** 251

**Arancel:** U\$S 2.900, Miembros de ALHSUD descuento 20%

**Arancel por temas:** U\$S 350 c/u.

**Cupos:** Máximo 30

(si corresponde, se indicará el número de plazas, mínimo y máximo y los criterios de selección)

**Objetivos:** Este curso proporcionará a los participantes los conocimientos fundamentales sobre hidrología subterránea, tanto en la teoría como en la práctica de esta disciplina.

Se contemplará el estudio y manejo de métodos de prospección geológica y geofísica, hidráulica de medios porosos y captaciones, poniendo énfasis en hidrogeoquímica, hidrología isotópica y trazadores, modelación de acuíferos y procesos de contaminación y transporte de solutos, contemplando también la planificación y gestión del uso de los recursos hídricos y su interrelación con las otras fases del ciclo hidrológico. Estos objetivos se concretarán a través del desarrollo de 12 temas en la modalidad de cursos presenciales, completados con la celebración de seminarios o conferencias, visitas y trabajos de grupo durante los dos meses de actividad académica.

**Conocimientos previos exigidos:** Poseer titulación universitaria, la cual deberá acreditarse al presentar la solicitud de inscripción. Los estudiantes del último año de carrera podrán participar en el Curso, pero para la expedición del certificado correspondiente deberán obtener previamente el título académico.

**Conocimientos previos recomendados:** Es recomendable tener una aceptable base físico-química y matemática, así como nociones de geología.

1 Adjuntar CV reducido

## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

**Metodología de enseñanza:**

(comprende una descripción de las horas de clase asignadas y su distribución en horas de práctico, horas de teórico, horas de laboratorio, etc. si corresponde)

	Tema	Profesores	Horas	Semanas
1.	Elementos de Hidráulica, conducciones y bombas	Daniel Schenzer	10	Lun. 01/10 al Vie. 05/10
2.	Elementos de Hidrología	Luis Silveira	10	
3.	Exploración Hidrogeológica	Marcos Musso	5	
3.	Exploración hidrogeológica	Jorge de los Santos	15 (teórico) 10 (prácticas de campo)	Lun. 08/10 al Vie. 12/10
4.	Hidráulica de acuíferos	Luis Silveira	21	Mar. 16/10 al Sáb. 20/10
5.	Hidráulica de captaciones de agua	Eduardo Batista	25	Lun. 22/10 al Vie. 26/10
6.	Hidroquímica	Marisol Manzano	25	Lun. 29/10 al Vie. 02/11
7.	Hidrología Isotópica	Luis Araguás	25	Lun. 05/11 al Vie. 09/11
8.	Transporte de solutos y trazadores	Enric Vázquez	25	Lun. 12/11 al Vie. 16/11
9.	Calidad, contaminación y protección de acuíferos	Enric Vázquez	25	Lun. 19/11 al Vie. 23/11
10.	Modelos de simulación de acuíferos	Jesús Carrera / Pablo Gamazo	25	Lun 26/11 al Vie. 30/11
11.	Planificación, gestión y optimización de los recursos hídricos	Emilio Custodio	18	Lun 03/12 al Vie. 07/12
12.	Derecho de Aguas	Rosario Silva	12	

**Forma de evaluación:** El aprovechamiento del curso será controlado mediante evaluaciones teórico-prácticas, que se realizarán diariamente o al finalizar cada tema. **Aprobación:** Se requiere aprobar los tests de evaluación de los temas 5 a 12 (mínimo 50%), y alcanzar al menos el 30% en los tests de evaluación de los temas 1 a 4.

La Comisión Docente (SILVEIRA, Luis; DE LOS SANTOS, Jorge; BATISTA, Eduardo; MANZANO, Marisol) evaluará la actuación en el Curso y propondrá la emisión del Diploma de aprobación otorgado por la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Los becarios de OIEA también recibirán un diploma de dicha institución.

**Temario:**

**TEMA 1: ELEMENTOS DE HIDRÁULICA, CONDUCCIONES Y BOMBAS**  
(12 Horas)

Prof. Responsable: Ing. Daniel Schenzer

Propiedades de los fluidos. Hidrostática. Flujo en tuberías. Pérdidas de carga. Diseño y cálculo de conducciones. Arranque y detención del bombeo. Cebado y expulsión de aire. Nociones de hidromecánica. Bombas: distintos tipos, sus principios de

## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

funcionamiento. Rendimiento y cálculo de potencia. Curvas características. Selección. Motores de accionamiento. Instalación de los equipos de bombeo. Sistemas de conducción y depósitos. Selección y diseño.

### TEMA 2: ELEMENTOS DE HIDROLOGÍA

(12 Horas)

Prof. Responsable: Ing. Luis Silveira, Ph.D.

El ciclo hidrológico. Concepto de cuenca. Climatología. Precipitación. El agua en el suelo. Parámetros. Evaporación y evapotranspiración. Métodos de cálculo. Infiltración y escorrentía. Nociones de aforos y curvas altura-caudal. Hidrogramas. Flujo base. Hidrograma Unitario. Interacciones entre aguas superficiales y subterráneas. Modificaciones introducidas por la acción del hombre. Evaluación de recursos hídricos. Balances hidrológicos. Valoración de los términos y sensibilidad de los parámetros.

### TEMA 3: EXPLORACIÓN HIDROGEOLOGICA

(25 horas)

Prof. Responsable: Ing. M.Sc. Jorge de los Santos, Dr. Marcos Musso

Rocas sedimentarias. Rocas volcánicas. Cuerpos graníticos. Filones. Rocas metamórficas. Rocas predevónicas. Sedimentos Gondwánicos. Magmatismo mesozoico. Sedimentos Cretácicos. Formaciones Cenozoicas. Acuíferos Regionales. Clasificación de los métodos geoelectrónicos. Aplicaciones. Propiedades electromagnéticas de las rocas. Prospección eléctrica por corriente continua. Dispositivos electródicos lineales. Sondeo eléctrico vertical: elementos de teoría y práctica. Interpretación. Calicata geoelectrónica. Mapas isorresistivos. Perfilaje múltiple de pozo. Métodos de resistividad aparente. Métodos radiactivos: Gamma natural. Interpretación. Introducción a los métodos magneto-telúricos y audio magneto-telúricos. Planificación y realización de los trabajos de campo. Interpretación de los resultados.

### TEMA 4: HIDRAULICA DE ACUÍFEROS

(25 Horas)

Prof. Responsable: Ing. Luis Silveira, Ph.D.

Tipos de acuíferos. Modelos conceptuales. Porosidad. Conductividad hidráulica. Flujos darcianos y no darcianos. Ley de Darcy. Velocidad. Derivación de la ecuación general de flujo. Soluciones particulares para casos de flujo unidimensional y bidimensional. Piezometrías y redes de flujo. Flujo en acuíferos libres: Cálculos básicos. Cálculo de flujos y velocidades. Superficies potenciométricas. Medida y registro de niveles. Determinación en laboratorio de porosidad y conductividad hidráulica.

### TEMA 5: HIDRÁULICA DE CAPTACIONES DE AGUA

(25 Horas)

Prof. Responsable: Ing. Ind. Eduardo Batista

Definiciones y conceptos fundamentales. Ecuaciones generales de la hidráulica de pozos en régimen permanente (acuífero cautivo, semiconfinado y libre). Aplicaciones de cálculo del régimen permanente. Ecuaciones generales de la hidráulica de pozos en régimen variable (acuífero cautivo, semiconfinado y libre). Aplicaciones del cálculo del régimen variable. Superposición de efectos e interferencia de pozos de bombeo. Recuperación de pozos. Acuíferos finitos: teoría de las imágenes. Drenaje diferido en acuíferos libres. Pozos incompletos y pozos de gran diámetro. Ensayos de bombeo escalonados. Hidráulica de captaciones en medios fracturados. Interpretación de ensayos de bombeo en acuíferos fracturados.

### TEMA 6: HIDROQUÍMICA

(25 Horas)

Prof. Responsable: Dra. Marisol Manzano

Fundamentos de química del agua (solutos y solventes, expresión de las concentraciones, características físico – químicas, iones mayoritarios, menores y traza). Fundamentos de termodinámica (actividad, equilibrio, solubilidad, índices de saturación, cinética). El análisis químico. Métodos gráficos de tratamiento y presentación de resultados. Métodos de muestreo, medición de parámetros inestables in situ y diseño de campañas. Origen y Modificación de la composición química del agua subterránea. Procesos de interacción agua-roca. Composición de rocas y minerales: Meteorización química. Adsorción/desorción. Precipitación-disolución. Equilibrio vs. Cinética en hidrología subterránea. Procesos en fase líquida, interacción agua-gas y disolución de orgánicos. Complejación. Oxidación-reducción. Solubilidad de gases reactivos. El CO<sub>2</sub> en el agua subterránea. Solubilidad de compuestos orgánicos. Procesos de mezcla de aguas: concepto y utilidad. Mezclas teóricas y balance de masas. 2. Modelación hidrogeoquímica.

## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

Desarrollo de modelos conceptuales. Datos necesarios (adquisición de datos en campo, laboratorio y bibliografía). Desarrollo de hipótesis (uso de relaciones iónicas, balance de masas, índices de saturación, velocidades de reacción, etc. y propuesta de reacciones). Códigos de ordenador para la modelación hidrogeológica. Códigos de cálculo de balance y transferencia de masas. Códigos de cálculo de especiación iónica e índices de saturación. Códigos de simulación de reacciones. Códigos de simulación de transporte de solutos. Limitaciones de la modelación hidrogeológica. 3. Ejemplos de estudio hidrogeológico. Ejemplos de modelación hidrogeológica.

### TEMA 7: HIDROLOGÍA ISOTÓPICA

(25 Horas)

Prof. Responsable: Dr. Luis Araguás

Principios básicos de Hidrología isotópica: Isótopos estables. Isótopos radioactivos. Aplicación en estudios de aguas subterráneas, incluyendo evaluación de áreas de recarga y tiempo de residencia de las aguas. Aplicación de isótopos ambientales en estudios de contaminación de aguas subterráneas, incluyendo impacto de actividades mineras, urbanas y agrícolas. Evaluación de impactos de: Rellenos sanitarios, diques de cola (mine tailings), contaminación relacionada a nitratos provenientes de aguas servidas, desechos animales y uso excesivo de fertilizantes, contaminación de compuestos orgánicos asociados a actividades industriales, empresas de limpiados en seco y gasolineras, aguas subterráneas contaminadas por nitratos y compuestos orgánicos en aguas superficiales.

### TEMA 8: TRANSPORTE DE SOLUTOS Y TRAZADORES

(25 Horas)

Prof. Responsable: Dr. Enrique Vázquez

Tipos de trazadores. Tipos de trazadores artificiales. Trazadores fluorescentes. Trazadores químicos iónicos. Trazadores radiactivos. Técnicas de detección de los trazadores. Estrategia general para la programación y realización de ensayos con trazadores. Ensayos de permeabilidad en sondeos con trazadores. Experiencias de interconexión. Identificación de flujos en sondeos y piezómetros. Medida de flujos horizontales. Medida de flujos verticales. Evaluación de los resultados de los ensayos con trazadores. Ejemplos de ensayos en acuíferos fisurados, kársticos, en medios porosos, en la ZNS. Uso conjunto de trazadores ambientales y artificiales - Ejemplos.

### TEMA 9: CALIDAD, CONTAMINACIÓN Y PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS

(25 Horas)

Prof. Responsable: Dr. Enrique Vázquez.

Criterios de establecimiento de la calidad del agua subterránea. Conceptos básicos del transporte de contaminantes. Principales procesos contaminantes: compuestos inorgánicos (degradación natural y contaminación antrópica por salinidad, metales-aguas ácidas y fertilizantes de origen mineral), contaminación bacteriológica y contaminación por compuestos orgánicos de origen biológico-urbano y compuestos orgánicos de síntesis (plaguicidas, disolventes orgánicos, PCB's, cianuro e hidrocarburos). El efecto de la temperatura sobre los acuíferos. Relación entre nivel freático y contaminación, Metodologías de prevención de la contaminación, establecimiento de sistemas de control y principales métodos de descontaminación.

### TEMA 10: MODELOS DE SIMULACIÓN DE ACUÍFEROS

(25 Horas)

Prof. Responsable: Dr. Ing. Jesús Carrera, Dr. Ing. Pablo Gamazo.

Introducción. Antecedentes históricos. Modelos numéricos. Modelos en diferencias finitas (DF). Métodos numéricos de resolución. Datos de ingreso a un modelo. Ajuste y calibración de modelos. Modelos de transporte y transferencia de masa. Modelos en elementos finitos (EF). Peculiaridades de los EF. Transporte: métodos Lagrangianos y Eulerianos. Problema inverso. Ejemplos de problemas inversos. Ejemplos de aplicación de modelos. Modelos de flujo y transporte reactivo en acuíferos.

### TEMA 11: PLANIFICACIÓN, GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS

(18 Horas)

Prof. Responsable: Dr. Ing. Emilio Custodio

Introducción al tema. Elaboración, análisis y alcance del balance hídrico de acuíferos. Definición y alcance de los conceptos de recursos y reservas. Objetivos de la gestión de acuíferos: calidad, cantidad y gestión integrada. El registro de aguas; bases de datos y gestión de la información hidrogeológica. Los sistemas de información geográfica en la gestión de los recursos hídricos. Gestión de

7/01/04

## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

situaciones hidrogeológicas extremas (sequías). Gestión de humedales relacionados con aguas subterráneas. Recursos hídricos no convencionales: reutilización. Recursos hídricos no convencionales: plantas de infiltración-percolación. Recursos hídricos no convencionales: desalación directa de agua marina o de agua subterránea salinizada. Barreras hidráulicas y recarga profunda de acuíferos. Recarga artificial de acuíferos: métodos de superficie. Objetivos de la planificación hidrogeológica. Uso conjunto agua subterránea - agua superficial. Optimización de uso conjunto-coordinado. Análisis de la vulnerabilidad en la planificación hidrogeológica. Conceptos de garantía y de análisis del riesgo. Análisis del coste económico en la planificación y gestión hídrica. Simulación numérica de acuíferos para su aplicación en programas de gestión. Enfoque ambiental de la planificación hidrológica.

### TEMA 12: DERECHO DE AGUAS

(12 Horas)

Prof. Responsable: Dra. Rosario Silva Gilli

Agua y recursos hídricos. Aguas subterráneas. ¿Derecho tradicional para las aguas? Contenido de las legislaciones de aguas. Algunos principios. Fuentes del Derecho de Aguas. Normativas Internacionales. Directiva Europea de Aguas. Aguas subterráneas en la UE. Otras legislaciones. Uruguay. Sistema Acuífero Guarani. Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Governance.

---

#### **Bibliografía:**

(título del libro-nombre del autor-editorial-ISBN-fecha de edición)

**Custodio, Emilio & Llamas, Manuel Ramón** – Hidrología Subterránea. Tomo I. Ediciones Omega. ISBN 978-8428204477. Barcelona. España

**Custodio, Emilio & Llamas, Manuel Ramón** – Hidrología Subterránea. Tomo II. Ediciones Omega. ISBN 978-8428202817. Barcelona. España

**Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea** - Hidrogeología: Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Fundación Curso Internacional de Hidrología Subterránea. ISBN 978-8492146918. Barcelona, España.