

---

**Formulario de Aprobación Curso de Actualización**

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

(Si el nombre contiene siglas deberán ser aclaradas)

---

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

(título, nombre, grado o cargo, Instituto o Institución)

**Profesor Responsable Local <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:**

**BATISTA, Eduardo Ing. Industrial, Prof. CIHS, Barcelona, España**

**CARRERA, Jesús Dr. Ing. Caminos, CSIC, Barcelona, España**

**CUSTODIO, Emilio Dr. Ing. Ind., Prof. Em. UPC, Barcelona, España**

**GAMAZO, Pablo Dr. Ing., Departamento del Agua, CURLN, 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, CSIC, Barcelona, España.**

(título, nombre, cargo, Institución, país)

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

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

<sup>1</sup> Agregar CV si el curso se dicta por primera vez.

(Si el profesor de la asignatura no es docente de la Facultad se deberá designar un responsable local)

---

**Horas Presenciales: 255**

(se deberán discriminar las mismas en el ítem Metodología de enseñanza)

**Público objetivo y Cupos:** Profesionales vinculados a las aguas subterráneas, **30**

(Si corresponde, se indicará el número de plazas, mínimo y máximo y los criterios de selección. **Asimismo, se adjuntará en nota aparte los fundamentos de los cupos propuestos.** Si no existe indicación particular para el cupo máximo, el criterio general será el orden de inscripción en el Depto. de Posgrado, hasta completar el cupo asignado)

---

**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.

---

**Metodología de enseñanza:**

(comprende una descripción de la metodología de enseñanza y de las horas dedicadas por el estudiante a la asignatura, distribuidas en horas presenciales -de clase práctica, teórico, laboratorio, consulta, etc.- y no presenciales de trabajo personal del estudiante)

- Horas clase (teórico): 245
- Horas clase (práctico): Integradas al teórico
- Horas clase (laboratorio): 10 (prácticas de campo)
- Horas consulta:
- Horas evaluación:
  - Subtotal horas presenciales: 255
- Horas estudio: 100 (ejercicios y preparación de evaluaciones por tema)
- Horas resolución ejercicios/prácticos:
- Horas proyecto final/monografía:
  - Total de horas de dedicación del estudiante: 355

---

**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 con un mínimo del 50%. De no haberse aprobado la totalidad de temas, la comisión docente evaluará particularmente cada caso.

---

**Temario:**

**TEMA 1: ELEMENTOS DE HIDRÁULICA, CONDUCCIONES Y BOMBAS**  
(15 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 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**  
(15 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 HIDROGEOLÓGICA**  
(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 electrónicos **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. 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 hidrogeoquímica. 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 hidrogeoquímica. 3. Ejemplos de estudio hidrogeoquímico. Ejemplos de modelación hidrogeoquímica.

**TEMA 7: HIDROLOGÍA ISOTÓPICA**

**(25 Horas)**

**Prof. Responsable: Dra. Marisol Manzano**

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 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 Guaraní. Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Governance.

---

**Bibliografía:**

**Custodio, Emilio & Llamas, Manuel Ramón – Hidrología Subterránea. Tomos I y II. Ediciones Omega. ISBN 84-282-0446-2. Barcelona. España**

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

---



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

---

### Datos del curso

---

**Fecha de inicio y finalización: 26 de setiembre al 3 de diciembre de 2016**

**Horario y Salón: 9 a 17 hs, Salón de posgrados del IMFIA**

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

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

---