

# Programa Escuela de Verano en Planificación y Operaciones Mineras 2020

El Laboratorio de Planificación Minera Delphos, unidad conjunta del Departamento de Ingeniería de Minas y del Advanced Mining Technology Center (AMTC), ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM), Universidad de Chile, lanzan la tercera versión de la Escuela de Verano en Planificación y Operaciones Mineras 2020, dirigida a estudiantes de ingeniería en el área de minería. **Esta actividad se realizará entre el 13 y 24 de enero de 2020 en dependencias de la FCFM.**

## Objetivo

Se busca acercar a los alumnos, desde una mirada crítica, a los enfoques de las distintas etapas involucradas en la planificación minera, tanto de minería a cielo abierto como minería subterránea, comenzando desde la planificación con herramientas clásicas y sus aspectos fundamentales, pasando por modelos matemáticos para el secuenciamiento óptimo y metodologías avanzadas para planificación con incertidumbre geológica, económica u operacional, colocando especial énfasis en las técnicas modernas de modelamiento existentes, y cómo éstas pueden ayudar a generar el mejor negocio productivo.

Para lograr este objetivo, el curso combina aspectos teóricos y prácticos, basados en metodologías recientes de planificación, por lo cual los estudiantes serán capacitados en el uso de los programas computacionales diseñados por los investigadores del AMTC para planificación de operaciones mineras y agendamiento de actividades. En total, se imparten 90 horas de actividades docentes durante el desarrollo de la Escuela de Verano.

## Dirección

Sala B07, Edificio Beauchef 851, FCFM, Universidad de Chile, ubicada en Avenida Beauchef 851, Santiago, Chile.

## Asistentes

Esta actividad está dirigida a alumnos de 4°- 6° año de Ingeniería de Minas, que posean la formación básica para seguir los contenidos del curso (idealmente habiendo cursado la asignatura Planificación Minera, o su equivalente, en la respectiva universidad). También son bienvenidos los profesores que puedan acompañar a sus alumnos para generar lazos de colaboración interuniversitarios.

## Organización del Programa

### Semana 1

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>08:30 - 10:00</b>	Registro y café (desde 09:30)	Clase Teórica Ma-1	Clase Teórica Mi-1	Clase Teórica Ju-1	Asignación Proyecto Vi-1
10:00 - 10:30		Break	Break	Break	Break
<b>10:30 - 12:00</b>	Bienvenida y Clase Teórica Lu-2	Clase Teórica Ma-2	Clase Teórica Mi-2	Clase Teórica Ju-2	Sesión Invitado Capacitación Maptek Vi-2
12:00 - 12:15	Break	Break	Break	Break	Break
<b>12:15 - 13:45</b>	Clase Teórica Lu-3	Clase Teórica Ma-3	Clase Teórica Mi-3	Clase Teórica Ju-3	Sesión Invitado Capacitación Maptek Vi-3
13:45 - 15:00	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo
<b>15:00 - 16:30</b>	Instalación software Lu-4-5	Clase Práctica Ma-4	Clase Práctica Mi-4	Clase Práctica Ju-4	Libre
16:30 - 16:45		Break	Break	Break	
<b>16:45 - 18:15</b>		Clase Práctica Ma-5	Clase Práctica Mi-5	Clase Práctica Ju-5	

### Semana 2

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>08:30 - 10:00</b>	Clase Teórica Lu-1	Clase Teórica Ma-1	Presentación Avance Mi-1	Desarrollo Proyecto Ju-1	Presentación Final Vi-1
10:00 - 10:30	Break	Break	Break	Break	Break
<b>10:30 - 12:00</b>	Clase Teórica Lu-2	Clase Teórica Ma-2	Presentación Avance Mi-2	Desarrollo Proyecto Ju-2	Presentación Final Vi-2
12:00 - 12:15	Break	Break	Break	Break	Break
<b>12:15 - 13:45</b>	Sesión Invitado(a) Lu-3	Sesión Invitado(a) Ma-3	Sesión Invitado(a) Mi-3	Sesión Invitado(a) Ju-3	Ceremonia de cierre Vi-3
13:45 - 15:00	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Actividad de despedida
<b>15:00 - 16:30</b>	Desarrollo Proyecto Lu-4	Desarrollo Proyecto Ma-4	Desarrollo Proyecto Mi-4	Desarrollo Proyecto Ju-4	
16:30 - 16:45	Break	Break	Break	Break	
<b>16:45 - 18:15</b>	Desarrollo Proyecto Lu-5	Desarrollo Proyecto Ma-5	Desarrollo Proyecto Mi-5	Desarrollo Proyecto Ju-5	

## Profesores

Nelson Morales	PhD, Director Lab. Delphos, profesor DIMIN & Investigador AMTC	Universidad de Nice-Sophia Antipolis (Francia)
Xavier Emery	PhD, profesor titular DIMIN-UCHile & Investigador titular AMTC	Ecole des Mines de París (Francia)
Raúl Castro	PhD, profesor asociado DIMIN-UCHile & Investigador Titular AMTC	The University of Queensland (Australia)
Manuel Reyes-Jara	PhD, profesor UTalca	Universidad de Chile
Enrique Jélvez	PhD, profesor DIMIN & Investigador AMTC	Universidad de Chile
Fabián Manríquez	Magíster Minería, PhD(c)	Universidad de Chile
Gonzalo Nelis	Magíster Minería, PhD(c)	Universidad de Chile
Luis Álvarez	Ingeniero Civil de Minas	Universidad de Atacama (Chile)
Carlos Toledo	Ingeniero Civil de Minas	Universidad Andrés Bello (Chile)
Josué González	Ingeniero en Minas	Universidad del Azuay (Ecuador)
Maximiliano Alarcón	Ingeniero Civil de Minas	Universidad de Chile
Héctor González	Ingeniero Civil de Minas	Universidad de Chile

## Contenidos

### Semana 1

#### Módulo Lu 2: Bienvenida & Presentación Laboratorio Delphos

##### Profesor: Nelson Morales

1. Bienvenida
2. Laboratorio Delphos
  - a. Misión – Visión
  - b. Equipo de Investigación
  - c. Líneas de Investigación
  - d. Estudios y Proyectos
3. Conceptos preliminares: Definiciones en Planificación Minera
  - a. Valorización de bloques y ley de corte
  - b. Ángulos de talud y precedencias

- c. Algoritmo del cono flotante
  4. Enfoque clásico basado en pits anidados por Lerchs & Grossmann
    - d. Problema del pit final
    - e. Pits anidados vía revenue factor
  5. Plan de producción
- 

### **Módulo Lu 3: Evaluación de recursos geológicos y reservas mineras**

**Profesor: Xavier Emery**

1. Introducción
  2. Muestreo para evaluación de recursos y reservas
  3. Modelamiento de la heterogeneidad geológica
  4. Clasificación y reporte de recursos geológicos
  5. Definición y clasificación de las reservas mineras
- 

**MARTES 14 ENERO 2020**

---

### **Módulo Ma 1-2: Modelos y algoritmos en planificación de la producción de minas a cielo abierto**

**Profesor: Enrique Jélvez**

1. Conceptos preliminares
    - a. Modelamiento matemático
    - b. Formulación de problemas de optimización
    - c. Modelos para agendamiento directo de bloques (DBS)
      - i. Enfoque multi-periodo
      - ii. Enfoque multi-destino
  2. Algoritmos para DBS
    - a. Pseudoflujo (pit final)
    - b. Resolución del monolítico (DBS)
    - c. Dificultad computacional del problema DBS
    - d. Heurísticas y metaheurísticas para DBS: ventajas y desventajas
- 

### **Módulo Ma 3: Trabajo dirigido - Ejercicios de aprendizaje**

**Profesor: Enrique Jélvez**

Resolución guías de ejercicios de los alumnos.

---

## Módulo Ma 4-5: DOPPLER, software para planificación estratégica

**Profesor: Héctor González – Gonzalo Nelis**

1. Introducción a DOPPLER
  - a. Crear un Proyecto
  - b. Interfaces de visualización
  - c. Creación de columnas:
    - i. Funciones a utilizar en DOPPLER (if, max, min, otros)
    - ii. Aplicabilidad en la valorización: separar destinos, incluir ley de corte, sectorizar valores.
  - d. Creación de relaciones de precedencias
2. Definición de instancias
  - a. Pit final
  - b. Pit anidados
  - c. Agendamiento
    - i. Agendamiento convencional (BC – WC)
    - ii. Agendamiento directo de bloques (DBS)
3. Resolución de instancias
  - a. Pit Final
  - b. Pit anidados
  - c. Agendamiento: DBS mediante BOS2M
    - i. Funcionamiento
    - ii. Distintos algoritmos de resolución, ventajas y desventajas.
4. Ejemplos de aplicación
5. Caso de estudio y proyecto

----- **MIÉRCOLES 15 ENERO 2020** -----

## Módulo Mi 1: Introducción a la Planificación de minas subterráneas

**Profesor: Maximiliano Alarcón**

1. Definiciones orientadas a Planificación Subterránea
2. Diferencias con planificación a cielo abierto
  - a. Preparación - Producción - Ventilación - Instalaciones - Servicios
3. Consideraciones especiales - Hitos Críticos
4. Singularidades en métodos de extracción
  - a. Selectivos
    - i. Room & pillar
    - ii. SLS (abiertos y relleno)
    - iii. Métodos selectivos con relleno
  - b. Masivos
    - i. Panel/Block Caving
    - ii. Sublevel Caving

5. Metodología tradicional
  6. Planificación integrada - en busca del óptimo
- 

## Módulo Mi 2: Modelos de optimización para minería subterránea. Fundamentos de UDESS: Universal Delphos Sequencer & Scheduler

**Profesor: Maximiliano Alarcón**

1. Modelo Conceptual
    - a. Plan Minero como un Proyecto
    - b. Actividades
    - c. Recursos
    - d. Precedencias
  2. Ejemplos
    - a. Un primer ejemplo simple
    - b. Agendamiento de la producción en Block y Panel Caving
    - c. Agendamiento de Preparación y Producción en Bench & Fill
    - d. Acoplamiento con otros modelos
    - e. Extracción a cielo abierto de largo plazo
  3. Modelo UDESS
    - a. Modelo base
    - b. Restricciones avanzadas
    - c. Modelo general
- 

## Módulo Mi 3: Trabajo dirigido - Ejercicios de aprendizaje

**Profesor: Maximiliano Alarcón**

Resolución guías de ejercicios de los alumnos.

---

## Módulo Mi 4-5: UDESS, software preparación y planificación subterránea

**Profesor: Luis Álvarez – Carlos Toledo**

1. Introducción a UDESS
  - a. Construcción de archivos de Actividades y Precedencias
  - b. Comenzar un nuevo proyecto: pestaña *Project*
  - c. Precedencias: pestaña *Precedences*
  - d. Tipos de restricciones: pestaña *Constraints*
  - e. Tipo de resolución: pestaña *Solver*
2. Ejemplos de uso de UDESS

- a. Secuenciamiento y agendamiento de actividades con consumo de recursos y costos asociados
- b. Secuenciamiento y agendamiento de actividades asociados al consumo de un caserón con dos opciones de acceso y costos asociados
3. Aplicaciones de UDESS en minería selectiva
  - a. Room & Pilar
  - b. SLS
  - c. Cut & Fill
4. Aplicaciones de UDESS en métodos de hundimiento
5. Caso estudio y proyecto

----- JUEVES 16 ENERO 2020 -----

### **Módulo Ju 1: Introducción a la incertidumbre operacional en minería**

**Profesor: Fabián Manríquez**

1. Problema de desviaciones de planes mineros.
2. Tipos de incertidumbre en la minería: Mercado, Geológica, Operacional.
3. Tipos de incertidumbre operacional en minería: Parámetros, Eventos y Asignaciones.
4. Simulación de Eventos Discretos como herramienta de evaluación de sistemas mineros complejos.
5. Estadística descriptiva:
  - a. Medidas de tendencia central.
  - b. Medidas de dispersión.
  - c. Gráficos.
6. Variables aleatorias: discretas y continuas.
7. Distribuciones de probabilidad: Ejemplos.
8. Generación de números aleatorios: semilla y réplicas. Ejemplos.
9. Clasificación de tiempos de equipos:
  - a. Clasificación de tiempos de equipos (Norma ASARCO).
  - b. Ejemplos para camiones y palas.
10. Modelo de fallas de los equipos:
  - a. Disponibilidad.
  - b. Tiempo entre fallas (TBF) y Tiempo para reparar (TTR).

-----

### **Módulo Ju 2: Introducción a la Simulación de Eventos Discretos: Una herramienta para la evaluación de sistemas mineros complejos.**

**Profesor: Fabián Manríquez**

1. Introducción a la simulación de eventos discretos:
  - a. Definición de simulación.
  - b. Definición de simulación de eventos discretos (DES).
  - c. Software de simulación comerciales.

- d. Software de simulación mineros.
  - e. Aplicaciones clásicas de DES en minería.
  - f. Proyectos realizados con la industria.
2. Ciclo de un proyecto de simulación:
    - a. Modelo de flujo de un proyecto.
    - b. Recolección de datos.
    - c. Modelación, Implementación, Calibración, Validación.
    - d. Definición y simulación de escenarios.
    - e. Análisis de resultados. Conclusiones.
  3. Medidas de confiabilidad de producción de un sistema minero:
    - a. Cumplimiento, Adherencia, Curva de Adherencia, *Lateness*, *Earliness*, *Tardiness*.
- 

### **Módulo Ju 3: Trabajo dirigido - Ejercicios de aprendizaje**

**Profesor: Fabián Manríquez**

Resolución guías de ejercicios de los alumnos.

---

### **Módulo Ju 4-5: Presentación DSIM, software**

**Profesor: Josué González – Fabián Manríquez**

1. Introducción a DSIM
  2. Parámetros de entrada:
    - a. Layout: Tramos. Intersecciones. Permisos. Tipos de señales de tránsito. Zonas de layout
    - b. Frentes: Frentes de carga, frentes de descarga, locaciones, tipos de locaciones
    - c. Camiones: Tipo de camión. Demoras programadas y no programadas. Mantenciones programadas y no programadas. Perfil de velocidades. Perfil de consumo de combustible
    - d. Equipos de carga: Demoras programadas y no programadas. Mantenciones programadas y no programadas
    - e. Chancadores: Permisos. Tasa de productividad
    - f. Plan de movimiento de material: Definición de Ciclos Productivos. Reglas de avance de una pala
  3. Casos de estudio y proyecto
- 

**VIERNES 17 ENERO 2020**

---

### **Módulo Vi 1: Asignación de Proyectos**

**Módulo Vi 2-3: Capacitación Maptek, software VULCAN (Ingeniero Joel Cifuentes).**

---

**FIN SEMANA 1**

---

## Semana 2

### Módulo Lu 1-2: Planificación bajo incertidumbre geológica

**Profesor: Gonzalo Nelis**

1. Fuentes de Incertidumbre en Planificación Minera
2. Causas y Modelamiento de la Incertidumbre:
  - a. Geológica
  - b. Operacional
  - c. de Mercado
3. Impacto de la incertidumbre en la planificación tradicional.
4. Representación de la incertidumbre geológica
5. Modelos tradicionales de optimización de planificación minera.
6. Primeros acercamientos a planificación bajo incertidumbre: heurísticas y algoritmos.
7. Modelos de optimización en planificación bajo incertidumbre:
  - a. Planificación estocástica en dos etapas.
  - b. Planificación Robusta.
  - c. Planificación minimizando desviaciones.

----- **MARTES 20 ENERO 2019** -----

### Módulo Ma 1: Introducción a las series de tiempo y procesos estocásticos

**Profesor: Manuel Reyes-Jara (Profesor Invitado UTALCA)**

1. Variables aleatorias
2. Pronóstico por series de tiempo: modelamiento
3. Procesos estocásticos
  - a. Modelo Movimiento Geométrico Browniano
  - b. Modelo Ornstein - Uhlenbeck
  - c. Modelo de Schwartz

### Módulo Ma 2: Planificación bajo incertidumbre de mercado

**Profesor: Enrique Jélvez**

1. Estimación de precios usando procesos estocásticos mediante planillas de cálculo
2. Enfoque por opciones reales: fundamentos
3. Limitaciones de los modelos
4. Ejemplos y ejercicios

## Sesiones Invitadas (Semana 2)

Además de las clases teórico-prácticas en tópicos avanzados de planificación y operaciones mineras, se consideran las siguientes actividades relacionadas al área para los alumnos asistentes a la Escuela de verano:

### Módulo Lu 3

- Expositor: Por confirmar
- Título: Por confirmar

### Módulo Ma 3

- Expositor: **Dr. Rodrigo de Lemos Peroni, Académico – UFRGS, Brasil.**
- Título: **Concepto y Proyecto de Carreteras para la Minería a Cielo Abierto.**

### Módulo Mi 3

- Expositor: **Cristian Salas, Ingeniero Senior – NCL Consultores.**
- Título: **Consideraciones de la Planificación y Diseño en Proyectos Mineros.**

### Módulo Ju 3

- Expositor: **Raúl Castro, Académico DIMIN – UChile**
- Título: **Laboratorio de Block Caving**

## Información Adicional

### Requerimientos para Proyectos

La Escuela de Verano finalizará con la realización de proyectos de los alumnos, bajo la metodología de trabajo en grupos inter-universitarios, a presentar el día viernes 24 de enero. Los *software* que se utilizarán para su desarrollo son **DOPPLER**, **UDESS** y **DSIM**. Los requisitos para poder instalar estos *software* son:

- Computador personal: Windows 7 o superior, 64 bits y 4 GB de RAM como mínimo. **Cada alumno debe traer su propio computador. La Organización NO DISPONE de laptops para entrega.**
- Completar y entregar firmada la **Declaración unilateral de utilización de software**. Se entregará a cada alumno en papel para que complete y firme antes de instalar los software.

## Requerimientos para software MATPEK: VULCAN

<b>Procesador</b>	Procesador de 64 bits Intel o AMD <i>equivalente a la serie i7 o superior</i>
<b>Sistema Operativo</b>	Microsoft Windows® 10 de 64 bits
<b>Conectividad a Internet</b>	Recomendado
<b>RAM</b>	32 GB de RAM o más
<b>Almacenamiento</b>	Unidad de disco de 1TB SSD o HDD 7200 rpm para almacenamiento de datos local LAN Gigabit o más rápido para un almacenamiento remoto más grande 10 GB de espacio total en disco para la instalación 4 GB de espacio libre en disco para archivos de intercambio
<b>Tarjeta Gráfica</b>	Tarjeta de vídeo dedicada compatible con OpenGL 3.3 ó superior 4 GB o más de Memoria Gráfica <i>GeForce GTX o equivalente</i>
<b>Monitor</b>	Resolución de 1920 x 1080 ó superior <i>Se recomienda el uso de dos monitores</i> Todas las pantallas deben configurarse en la misma resolución para tener una mejor experiencia.
<b>Periféricos</b>	Mouse genérico de 3 botones con rueda

### Actividad de cierre

El día viernes 24 de enero se hará un almuerzo extendido para finalizar la Escuela de Verano, después de la ceremonia de cierre.

### Dependencias

- Casino Facultad: lugar de almuerzo
- EDV20: sala de clases (B07)

### Información disponible

Consultas: [edv@delphoslab.cl](mailto:edv@delphoslab.cl)

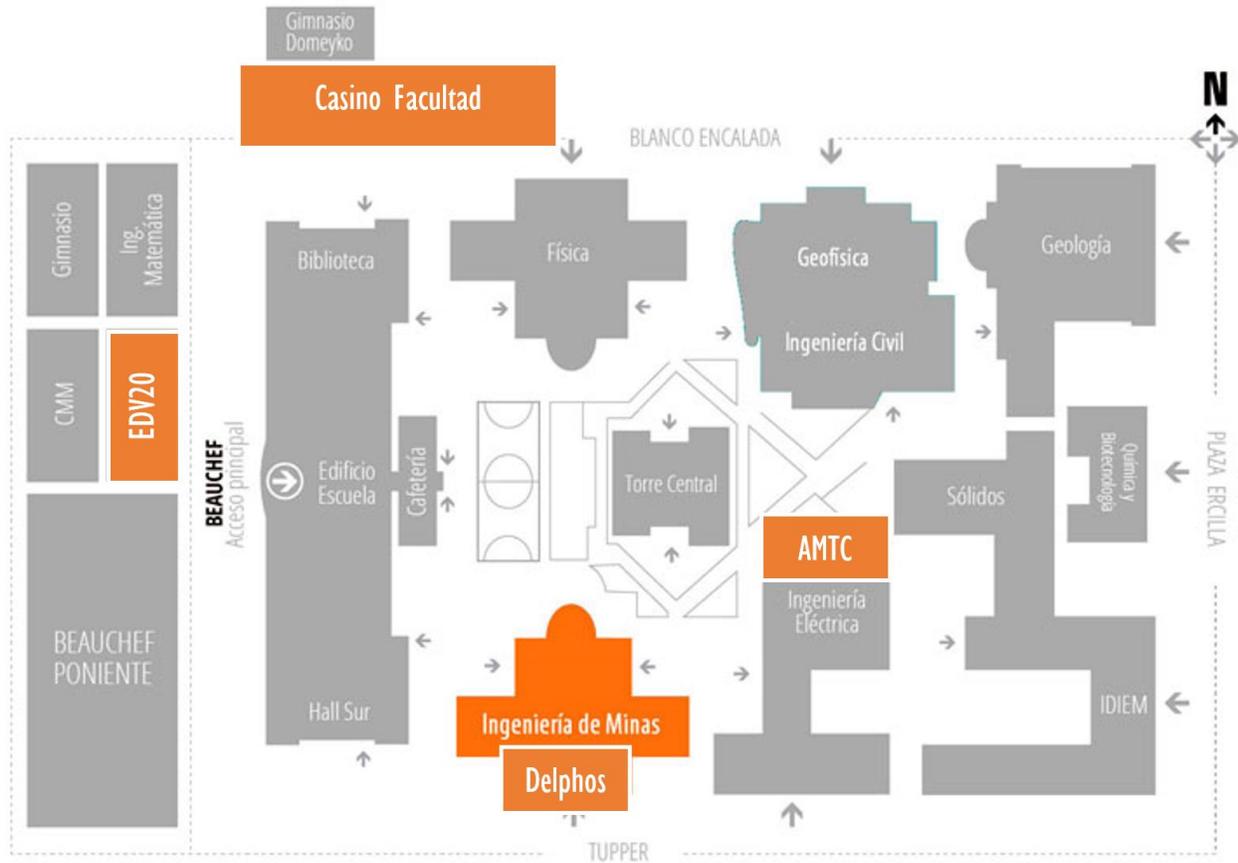


Figura 1. Plano esquemático de la **Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile**. Se muestran: Edificio de **Ingeniería de Minas**, donde se encuentra el Laboratorio **Delphos**; Edificio **AMTC**; el lugar donde se desarrollarán las clases de la Escuela de Verano (sala B07, en el plano **EDV20**); y el **Casino Facultad**.