

## EVALUACIÓN DE RIESGOS Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

INCERTIDUMBRE,  
VARIABILIDAD Y RIESGO

SIMULACIÓN ESTOCÁSTICA PARA  
LA TOMA DE DECISIONES

MODELAMIENTO DE SISTEMAS  
PRODUCTIVOS

OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS  
DE INVERSIÓN

INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD EN LA  
EVALUACIÓN DE PROYECTOS





## *Presentación*

CGS, empresa chilena de consultoría desarrolladora de R-MES y ORACLE Corporación, compañía estadounidense fabricante de Crystal Ball, le invitan a este curso de formación que tiene como objetivo fortalecer conocimientos y entregar herramientas necesarias para la evaluación e ingeniería de grandes proyectos de inversión.

En el campo empresarial, Crystal Ball es utilizado como soporte para la toma de decisiones por más del 85% de la compañías que forman parte de FORTUNE TOP 500 empresas como Petrobras, Repsol YPF, PVDSA, GE, CVRD VALE, Minera Collahuasi, Motorola, Telefónica, Wal-Mart, Shell, Texaco, Exxon, BHP Billiton, Rio Tinto, IBM, Johnson & Johnson, Bayer, Pfizer, NASA, Xerox, Boeing, Embraer, CPFL, Duke-Energy, Banco Central de Chile, Banco ITAU, Banco Santander. En el campo académico, Crystal Ball se enseña en Universidades como Harvard, UCLA, MIT, Princeton, Oxford, Universidad Adolfo Ibáñez, Pontificia Universidad Católica de Chile, Inacap, Fundacao Getulio Vargas, IBMEC Brasil entre otras.

Por otra parte, la Plataforma R-MES es utilizada tanto para la gestión de activos en sistemas de producción como para apoyar, a través de la ingeniería de confiabilidad, el diseño de proyectos intensivos en activos. Entre las empresas que han obtenido los beneficios de R-MES destacan Codelco, BHP Billiton, Freeport McMoran, Xstrata, Yamana Gold, Quadra Mining, SQM, Teck, SNC-Lavalin, Ferrovie dello Stato, EDAS, Ternium Siderar, Tenaris Siderca, entre otros. En el ámbito académico R-MES es utilizado en programa de pre y postgrado en el Politecnico di Milano, Universidad Austral de Buenos Aires y Universidad Federico Santa María.

El programa ha sido diseñado para demostrar una amplia variedad de aplicaciones orientadas a la evaluación y optimización de proyectos de inversión, dando énfasis en conceptos como riesgo, probabilidades, confiabilidad y mantenibilidad. Los asistentes recibirán material de apoyo incluyendo licencias de entrenamiento de ambos software.

El programa es dirigido a ejecutivos y profesionales particularmente de áreas como ingeniería, proyectos, estudios, mejoramiento continuo, finanzas y mantenimiento, principalmente de industrias como minería, energía y utilities, petroquímica, celulosa, transporte u otras intensivas en capital que continuamente evalúen mejoras e inversiones en los sistemas productivos o en nuevos proyectos. Está especialmente orientado a aquellos profesionales interesados en mejorar la toma de decisiones a través de fundamentos cuantitativos que consideren elementos como probabilidad de ocurrencia o comportamiento de falla de los equipos, con el objetivo de maximizar la rentabilidad sobre los activos bajo escenarios con incertidumbre.





## ***Introducción***

La competitividad de las empresas intensivas en activos fijos se sustenta en la eficiencia, y por lo tanto en la capacidad de éstas para rentabilizar grandes inversiones. Este aspecto obliga a analizar de forma rigurosa los nuevos proyectos, desde su etapa de concepción, con el objetivo de maximizar los beneficios en el ciclo de vida de los activos a través de herramientas que permitan mejorar los niveles de producción y disminuir tanto la inversión como los costos operacionales. Dado que la disminución en un tipo de costo puede incidir en el aumento de otro, es necesaria una visión integral de sistemas productivos que permita identificar el mejor escenario con una probabilidad de ocurrencia o riesgo dado.

## ***Alcance del programa***

El curso se centra en la aplicación de técnicas de simulación estocástica, pronósticos, optimización y modelación RAM (reliability, availability y maintainability) para la evaluación y diseño de ingeniería de proyectos industriales. Además entrega conocimientos teóricos y prácticos de ingeniería de plantas como base para determinar la seguridad de funcionamiento y producción estimada de un sistema productivo a partir del comportamiento de detención de los equipos. De este modo, el primer módulo entrega los fundamentos básicos para medir riesgo y profundiza, con soporte de Crystal Ball, en la utilización de herramientas para la estimación de costos en escenarios de incertidumbre y volatilidad. Como complemento, el segundo módulo proporciona los conocimientos de ingeniería de confiabilidad y mantenibilidad necesarios para optimizar el diseño de un proceso y mejorar la rentabilidad sobre los activos de un proyecto, en su ciclo de vida, a partir de modificaciones en su configuración lógico funcional. Además, este último módulo facilita, con el soporte del modelación en R-MES, las herramientas prácticas para estimar el nivel de producción, utilización y disponibilidad de distintos escenarios en base a la confiabilidad sistémica y la probabilidad de ocurrencia dada para cada caso. En resumen, la integración de ambos módulos entrega metodologías para estimar la rentabilidad y riesgo de un proyecto a partir de la simulación de costos y producción.

## ***Metodología***

- Creación de ambientes que promueven la interacción con el relator
- Potencia el desarrollo del pensamiento crítico mediante debates
- Fomenta el trabajo en equipo
- Entrega conocimientos teóricos y prácticos
- Recrea la realidad a través de casos aplicados
- Considera la utilización de herramientas informáticas
- Facilita el entendimiento a través de la exposición de casos reales por parte de los relatores o de expositores invitados

# EVALUACIÓN DE RIESGOS Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

## **Beneficios**

Al término del curso, los participantes habrán aprendido a:

- Ampliar conocimiento en técnicas de modelación.
- Conocer y aplicar la estadística de riesgo y sus métricas.
- Convertir modelos estáticos en modelos dinámicos de simulación.
- Desarrollar el proceso de análisis de riesgos.
- Realizar pronósticos de variables.
- Configurar modelos de optimización estocástica.
- Calcular métricas de riesgos como volatilidad, variabilidad, %Var y %CVAR.
- Profundizar conocimientos de ingeniería de confiabilidad y mantenibilidad.
- Modelar procesos desde la óptica lógico-funcional.
- Interpretar KPIs como disponibilidad, utilización, costo de falta, throughput-ability
- Determinar la disponibilidad sistémica de un proceso productivo
- Mejorar el diseño de un proceso productivo a partir de su configuración lógico-funcional
- Evaluar un proyecto integrando riesgo operacional y costos.
- Analizar escenarios desde una óptica que considere la probabilidad de ocurrencia.
- Estimar el nivel de producción considerando el comportamiento de falla de los equipos.

## **Estructura del programa (\*)**

**Módulo 1.** Evaluación de riesgos y optimización en proyectos de inversión [16 horas]

Relator: **Eduardo Herrera**

Casos prácticos: **Eduardo Herrera y Alessio Arata**

**Módulo 2.** Confiabilidad y riesgo operacional en el diseño de procesos industriales [16 horas]

Relatores: **Raúl Stegmaier y Fredy Kristjanpoller**

Casos prácticos: **Fredy Kristjanpoller y Alessio Arata**

**(\*)** Es posible tomar sólo uno de los módulos, sin embargo se sugiere asistir a ambos ya que el programa se ha diseñado pensando en la integración de los conocimientos y de las herramientas.

**4 días de Full Inmersion Program**

### **Raúl Stegmaier**

Ingeniero Civil Industrial de la Universidad Santa María y M.Sc. en Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile. Adicionalmente ha realizado perfeccionamientos en Simulación de Procesos Discretos y en Planificación Estratégica. Se ha destacado en trabajos de investigación, en las áreas de Automatización y Control, Manufactura Flexible, TPM e Ingeniería de Plantas Industriales. En el ámbito de la consultoría posee vasta experiencia en el Modelamiento de Sistemas de Producción y en Gestión de Activos, lograda a través proyectos realizados principalmente para la minería. También ha participado en la optimización de proyectos de inversión a nivel de ingeniería de prefactibilidad y ha liderado proyectos en el área Confiabilidad Operacional para importantes empresas mineras.

Imparte cursos de Gestión de Operaciones y de Ingeniería de Plantes en la Universidad Santa María, donde es también Director del Magister en Emprendimiento e Innovación Tecnológica.

## *Días 1 y 2. Evaluación de riesgos y optimización en proyectos de inversión*

### Introducción y fundamentos básicos

- Incertidumbre, variabilidad y riesgos
- Análisis de escenarios
- Análisis de sensibilidad
- Simulación Monte Carlo

### Evaluación económica y perfiles de riesgo en proyectos de inversión

- Modelación de incertidumbres técnicas y económicas
- Ajuste a distribuciones de probabilidad
- Correlaciones entre supuestos
- Preferencias de simulación
- Modelación y simulación de costos e ingresos para la evaluación de proyectos
- Evaluación y estimaciones probabilísticas de VAN y TIR
- Identificación de variables críticas - Análisis de sensibilidad multidimensional
- Valor en Riesgo (VaR) en Proyectos de Inversión y perfiles de pronóstico (CVar)

### Simulación y toma de decisiones

- Análisis estadístico-probabilístico
- Manejo de gráficos: forecast, overlay, trend, sensitivity, scatter
- Generación de reportes de simulación
- Extracción de datos
- Herramientas de Crystall Ball
- Interpretación estadística y gráficos de simulación

### Pronósticos de series temporales

- Tendencia y Estacionalidad
- Ajuste de valores extremos
- Regresión múltiple
- Reportes y extracción de datos

### Optimización de portafolios de proyectos

- Proyectos con restricción presupuestaria
- Modelación de rentabilidad y éxito esperado
- Modelación para la selección de proyectos
- Optimización determinista
- Optimización probabilística
- Reportes de Optimización

### Introducción al análisis de opciones reales en la evaluación de proyectos

#### Caso aplicado 1. Proyecto Minero Nambija

- Modelación de variables técnicas como nivel de reserva, ley del mineral y ley de corte
- Modelación de variables económicas (precio del metal, costos de capital y costos de operaciones)
- Simulación de VAN y TIR para decisión de inversión
- Identificación de variables críticas

#### Caso aplicado 2. Selección de Proyectos

- Modelación para la selección de proyectos
- Definición de la función objetivo (VAN, TIR u otra)
- Optimización con incertidumbre y restricción presupuestaria

#### Caso aplicado 3. Decisión de reemplazo de equipos

- Análisis de disponibilidad y de costos (directos y de falta)
- Análisis de riesgo y valoración de la flexibilidad
- Evaluación LCC en base a modelos determinísticos y estocásticos
- Cálculo de KPIs al modificar la configuración lógico-funcional

### *Eduardo Herrera*

Ingeniero Civil de la Universidad Técnica de Loja, Ecuador y MBA de la Escuela Politécnica Nacional de Quito. Adicionalmente se ha perfeccionado en Canadá en Evaluación de Inversiones y Análisis de Riesgo. En el campo de la docencia tiene una experiencia de quince años como Profesor Universitario con cátedras como Estadística, Técnicas de Simulación, Simulación Financiera, Evaluación de Proyectos y Métodos Cuantitativos. Además ha dictado seminarios relacionados con Análisis de Riesgo, Manejo de Incertidumbre y Decisiones Efectivas, Riesgos en Proyectos de Inversión y Gerencia de Proyectos en países como Argentina, Bolivia, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos, México, Panamá, Perú, Trinidad y Tobago y Venezuela. Es autor del Libro Riesgos en Proyectos de Inversión. En el ámbito empresarial es fundador de Cydhem S.A y ha asesorado el desarrollo de importantes proyectos de inversión en las áreas académica, de infraestructura, ingeniería, producción y petróleo.



# EVALUACIÓN DE RIESGOS Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

## Días 3 y 4. Confiabilidad y riesgo operacional en el diseño de procesos industriales

### Fundamentos de confiabilidad y mantenibilidad

- Confiabilidad operacional y fundamentos de gestión de activos
- Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (RAM)
- Enfoque Life Cycle Cost en la evaluación y diseño de proyectos

### Confiabilidad y mantenibilidad en el diseño proyectos industriales

- Confiabilidad y riesgo operacional en proyectos: *lean configuration*
- Incertidumbre en el desempeño de una planta o flota
- Utilización esperada de un proceso: enfoque bottom up v/s top down
- Seguridad de funcionamiento: sistemas tipo pulmón y *throughput-ability*
- Costos globales: inversión, costos directos y costos de falta
- Evaluación de oportunidades de mejora: VAN, TIR
- Análisis estocástico: definición de riesgos y probabilidades de ocurrencia

### Ingeniería de confiabilidad en la evaluación y toma de decisiones

- Ingeniería de plantas y fundamentos de la teoría de la confiabilidad
- Comportamiento de falla de los equipos: ajuste de curvas de confiabilidad
- Análisis sistémico de procesos y configuración lógico-funcional
- Relación lógica entre equipos/sistemas: serie, paralelo, stand-by, k/n, fraccionamiento
- Importancia y manejo del dato para el análisis en la etapa de ingeniería
- Consecuencia de falla v/s frecuencia de falla: equipos críticos, agudos y crónicos
- Mejoramiento y toma de decisiones en base a análisis RAM: caso aplicado

### Plataforma R-MES y simulación RAM

- Modelación lógico-funcional de plantas y flotas
- Modelación de sistemas tipo pulmón: stock-piles, estanques, etc.
- Requerimientos de información y calidad de la data
- Simulación RAM: histórica, probabilística y estocástica
- Análisis de KPIs (MTTR, MTBF, U, A, T) y reportes de confiabilidad

### Análisis de riesgo y seguridad de funcionamiento

- Simulación estocástica de confiabilidad
- Toma de decisiones en base a riesgo e impacto sobre el negocio
- ¿Cuánto invertir en confiabilidad? ¿Qué riesgo debo aceptar en el nivel de producción?
- Incidencia de sistemas de acopio y obtención de curva de *throughput-ability*
- Estimación de niveles de producción y análisis de riesgo en presencia de acumuladores

### Caso aplicado 1. Evaluación y análisis de riesgo de una planta

- Modelamiento y simulación RAM del diseño de ingeniería
- Cálculo de KPIs: Disponibilidad, Utilización, Costos
- Análisis de criticidades e identificación de oportunidades
- Seguridad de funcionamiento y estimación niveles de producción
- Simulación de cambios en niveles fraccionamiento y capacidades ociosas
- Evaluación LCC de escenarios y análisis de riesgo operacional

### Caso aplicado 2. Optimización de un sistema stock-pile

- Modelamiento y simulación del proceso utilizando R-MES
- Análisis de sensibilización para dimensionamiento de stock-pile
- Evaluación LCC y análisis de riesgo para distintos capacidades
- Análisis de escenarios: trade-off velocidad de llenado v/s capacidad
- Ajuste de curva, evaluación LCC y optimización utilizando Crystal Ball

### Caso aplicado 3. Análisis de flota de equipos

- Análisis de disponibilidad de equipos
- Análisis de costos directos y de la falta
- Evaluación LCC en base a modelos determinísticos y estocásticos

### Fredy Kristjanpoller

Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Gestión de Activos de la Universidad Técnica Federico Santa María. Profesional con una vasta experiencia en ingeniería de mantenimiento, particularmente en el modelación y análisis sistémico de plantas y flotas de equipos de la gran minería. Ha trabajado en el desarrollo de aplicaciones informáticas para la Ingeniería de Confiabilidad, entre las que se destaca R-MES y como consultor ha participado en la evaluación y modelación de confiabilidad y mantenibilidad de importantes proyectos mineros.

### Alessio Arata

Ingeniero Civil Industrial, Universidad Federico Santa María y Magíster en Dirección Financiera, Universidad Adolfo Ibáñez. Tiene un perfeccionamiento en Evaluación Técnica y Financiera de Proyectos Mineros, realizado en el Imperial College de Londres. Profesional con vasta experiencia en consultoría principalmente en los sectores minería y energía, en ámbitos como reducción de costos, evaluación financiera y logística. Ha liderado proyectos de simulación, optimización y modelación de confiabilidad para diversos proyectos de inversión en minería y trabajado con herramientas avanzadas de evaluación económica y riesgo. Trabajando en conjunto con empresas de ingeniería o gerencias de proyecto de importantes mineras ha participado en el diseño de procesos, identificando importantes ahorros en CAPEX y mejoras en la seguridad de funcionamiento. Cuenta con experiencia en el desarrollo conceptual de algoritmos informáticos para el modelación de procesos, aplicados en operaciones mina, plantas de proceso, transporte y puerto.

Para más información contactarse con:

Juan Ortiz, Oracle [juan.ortiz@oracle.com](mailto:juan.ortiz@oracle.com)

Juan Araya, CGS [jaraya@mes.cl](mailto:jaraya@mes.cl)



[www.cgsb.cl](http://www.cgsb.cl)  
E-mail: [empresa@mes.cl](mailto:empresa@mes.cl)  
(56) (32) 2688987/ 2882909

ORACLE®