

Comite de Inversion

Caso demostrativo - Ampliacion Planta Concentradora

Analisis cuantitativo de riesgos de costo y plazo | Resultado probabilistico y solicitud de aprobacion

Factibilidad | Clase 3 (AACE 18R-97), rango esperado -10% / +20%

PMO Consultores - Caso construido con datos de demostracion | 2026-08-03 | Version 2.0

5,000 iteraciones Monte Carlo con muestreo Latin Hypercube

Que decision se solicita al comite

Paso 1 del analisis de rangos: definicion del problema y del alcance

Aprobar el paso a ejecucion con un presupuesto y una fecha de puesta en marcha comprometidos, y autorizar la contingencia de costo y la reserva de programa asociadas.

Alcance INCLUIDO en el modelo

- CAPEX de ingenieria de detalle, adquisiciones, construccion, montaje y puesta en marcha del area de chancado y molienda.
- Costos del dueno directamente asociados a la ejecucion del proyecto (administracion de contrato, EPCM, servicios de faena).
- Cronograma desde el hito de aprobacion de inversion hasta la puesta en marcha operacional.
- Riesgos de permisos sectoriales asociados a obras dentro del limite de bateria.

Alcance EXCLUIDO del modelo

- Costos de operacion (OPEX) posteriores a la puesta en marcha.
- Ampliaciones futuras no comprometidas y obras de terceros fuera del limite de bateria.
- Riesgo de precio del cobre en el CAPEX; solo se incorpora en el modulo de evaluacion economica.
- Eventos de fuerza mayor no asegurables y falla fatal socioambiental, que se tratan como criterio de decision separado y no como contingencia.

Lo excluido no esta cubierto por la contingencia solicitada: si se materializa, requiere una decision nueva del comite.

Recomendacion ejecutiva

Politica de decision aplicada: P80 en costo y P80 en plazo

COSTO RECOMENDADO (MMUSD)

567,3

VEB 480,0 + contingencia 87,3 (18.2%)

PLAZO RECOMENDADO (meses)

35,6

Base 30,0 + reserva 5,6 (18.5%)

NIVEL DE CONFIANZA

P80

Probabilidad de no exceder el costo comprometido: 80%

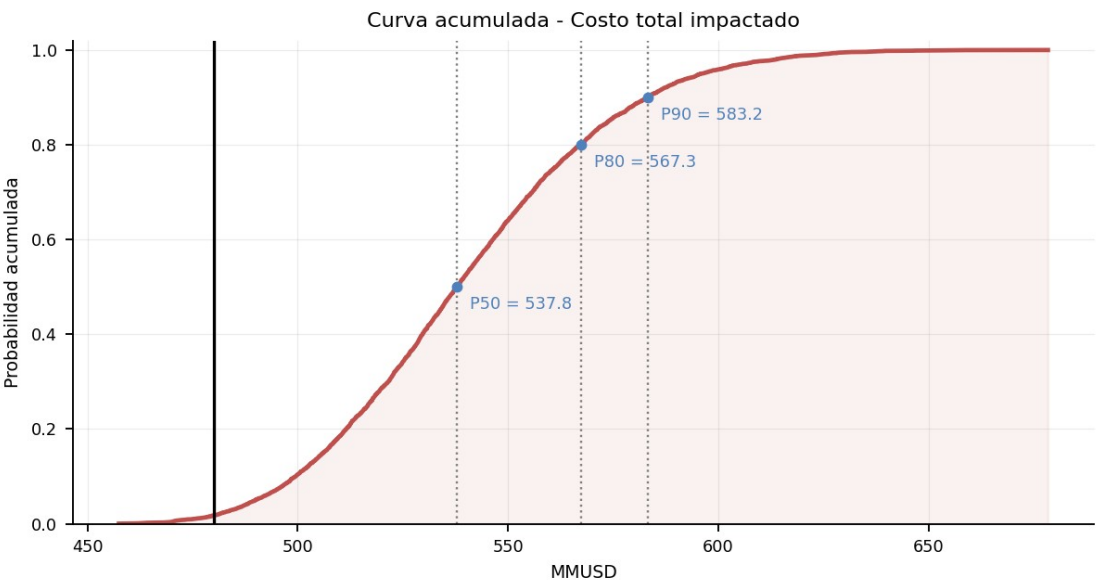
EXCEDENCIA ACEPTADA

20%

Probabilidad residual de superar el presupuesto aprobado

Lo que el comite debe entender del numero

- El presupuesto base de 480,0 MMUSD tiene solo 2% de probabilidad de cumplirse: comprometerlo equivale a aceptar un sobrecosto casi seguro.
- La media simulada supera el base en 59,9 MMUSD; esa brecha es riesgo no reconocido, no holgura del equipo.
- Aprobar al P80 implica aceptar explicitamente una probabilidad de 20% de exceder el monto autorizado.
- Cada mese de atraso cuesta 10,1 MMUSD en costos dependientes del tiempo.



Como se construyo el modelo

Los seis pasos del Taller de Analisis de Rangos, en orden y con trazabilidad

1. Problema y alcance

Decision declarada por el sponsor; alcance incluido y excluido escritos antes de estimar.

2. Diagrama de influencia

Identificacion de variables criticas de costo, plazo y valor, y de sus relaciones causales.

3. Rangos creibles

Minimo y maximo con evidencia y responsable declarado por cada variable, no intervalos comodicos.

4. Distribuciones

Percentiles y familia de distribucion justificada segun la calidad de la informacion disponible.

5. Correlaciones

Modelacion explicita de causas comunes para no subestimar la cola alta del resultado.

6. Simulacion

5,000 iteraciones con muestreo Latin Hypercube; resultados en percentiles y sensibilidad.

El modelo es auditable: cada rango tiene evidencia y responsable, y cada correlacion tiene una causa comun declarada.

Valor Estimado Base y variables criticas

Pasos 2 y 3: que se modela y de donde vienen los rangos

VEB DE COSTO (MMUSD) 480,0 Estimacion base sin contingencia	DURACION BASE (meses) 30,0 Cronograma base sin reserva	VARIABLES MODELADAS 15 Partidas, fases, riesgos y drivers	CORRELACIONES 7 Todas con causa comun justificada
--	---	--	--

Variable critica	Contribucion a la variabilidad del costo	Rho Spearman
Atraso en permiso ambiental sectorial (ocurrencia)	20.1%	+0.46
Baja productividad de montaje por escasez de mano de obra...	15.6%	+0.41
Acero estructural, canerias y montaje	13.9%	+0.39
Condiciones geotecnicas adversas en fundaciones (ocurrencia)	8.0%	+0.29
Paralizacion por conflicto laboral o comunitario (ocurrencia)	7.4%	+0.28
Equipos principales de proceso	6.4%	+0.26
Obras civiles y movimiento de tierra	4.8%	+0.23
Construccion y montaje	4.8%	+0.23

Distribuciones y parametros utilizados

Paso 4: la forma de cada distribucion responde a la calidad de la evidencia

Variable	Distribucion	Por que esa forma
Ingenieria de detalle y EPCM	Pert(0.95; 0.99; 1.2)	PERT: existe un valor mas probable bien sustentado y la cola alta es mas...
Equipos principales de proceso	Pert(0.96; 0.99; 1.13)	PERT: cotizaciones acotan el rango; la cola alta refleja vencimiento de...
Acero estructural, canerias y montaje	Lognormal(mu=1.02; sd=0.1)	Lognormal: precio de commodity, asimetrico a la derecha y acotado...
Obras civiles y movimiento de tierra	Triangular(0.94; 1; 1.18)	Triangular: solo hay juicio experto y cubicaciones preliminares, sin base...
Electrico, instrumentacion y control	Pert(0.96; 0.99; 1.14)	PERT: buen anclaje del valor central por analogia directa.
Indirectos de construccion y...	Pert(0.96; 1; 1.16)	PERT correlacionada con construccion: los indirectos son derivados y no una...
Ingenieria de detalle	Pert(0.96; 1; 1.18)	PERT asimetrica: la ingenieria rara vez se adelanta y frecuentemente se...
Adquisiciones y fabricacion de equipos	Pert(0.97; 1; 1.15)	PERT: plazos ofertados acotan el rango inferior.
Construccion y montaje	Pert(0.95; 1.01; 1.22)	PERT con cola derecha larga: la productividad tiene un techo fisico pero un...
Comisionamiento y puesta en marcha	Triangular(0.95; 1.02; 1.3)	Triangular: solo juicio experto, con cola derecha marcada por interferencia...

Criterio aplicado: PERT cuando el valor mas probable esta bien sustentado; triangular cuando solo hay juicio experto; lognormal para precios de commodities y variables acotadas inferiormente; discreta para eventos por escenarios.

Registro de riesgos discretos incorporados

Modelacion Bernoulli de ocurrencia por distribucion de impacto

Riesgo	Prob.	Impacto costo (MMUSD)	Impacto plazo (meses)	Responsable
Atraso en permiso ambiental sectorial	30%	-	Triangular(1; 3; 6)	Gerente de Permisos
Paralizacion por conflicto laboral o comunitario	20%	Triangular(2; 5; 10)	Triangular(0.5; 1.5; 3)	Gerente de Sustentabilidad
Condiciones geotecnicas adversas en fundaciones	30%	Pert(6; 12; 26)	Triangular(0.3; 1; 2)	Jefe de Obras Civiles
Baja productividad de montaje por escasez de mano...	40%	Triangular(4; 9; 18)	Triangular(0.5; 1.5; 3)	Jefe de Construccion
Interferencia con la operacion existente en amarres	25%	Triangular(3; 6; 13)	Triangular(0.3; 0.8; 1.5)	Gerente de Operaciones
Cambio de alcance por definicion tardia de...	30%	Triangular(4; 9; 19)	Triangular(0.3; 0.7; 1.5)	Jefe de Ingenieria

Correlaciones incorporadas y su justificacion

Paso 5: ignorar la causa comun subestima sistematicamente la cola alta

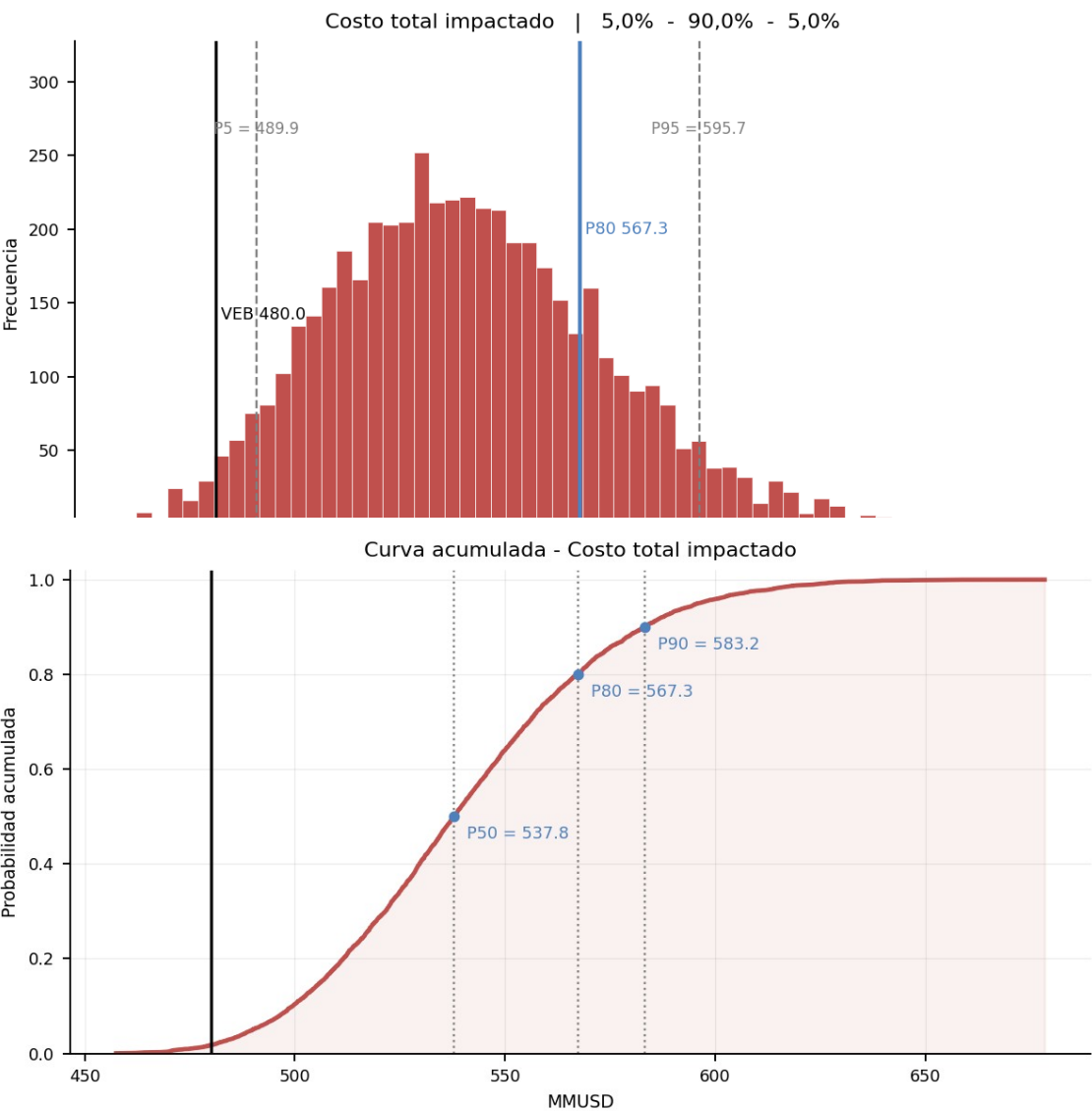
Variable A	Variable B	Rho	Logrado	Causa comun que la justifica
Acero estructural, canerias y...	Equipos principales de proceso	+0.55	+0.53	Causa comun de mercado: ambos dependen del ciclo de precios de acero y de la...
Acero estructural, canerias y...	Obras civiles y movimiento de...	+0.35	+0.33	Comparten insumos de construccion y la misma dotacion regional; un mercado...
Indirectos de construccion y...	Construccion y montaje	+0.70	+0.68	Los indirectos de construccion son derivados de la duracion de la construccion...
Construccion y montaje	Comisionamiento y puesta en marcha	+0.40	+0.39	Una construccion con baja productividad entrega sistemas incompletos y alarga...
Ingenieria de detalle	Adquisiciones y fabricacion de...	+0.45	+0.43	El atraso de la ingenieria de detalle retrasa la emision de ordenes de compra y...
Baja productividad de... (costo)	Baja productividad de... (plazo)	+0.75	+0.73	Si la productividad cae, el sobre costo y el atraso son manifestaciones del...
Condiciones geotecnicas... (costo)	Condiciones geotecnicas... (plazo)	+0.60	+0.59	Un hallazgo geotecnico mayor implica simultaneamente mas obra y mas tiempo.

La correlacion resultante entre costo y plazo es +0.84. No se impuso: emerge del modelo a traves de los costos dependientes del tiempo y de los riesgos con impacto simultaneo.

Metodo: Iman-Conover sobre rangos, que preserva las distribuciones marginales declaradas por los expertos.

Resultado probabilístico de costo

Paso 6: distribucion, curva acumulada y percentiles relevantes

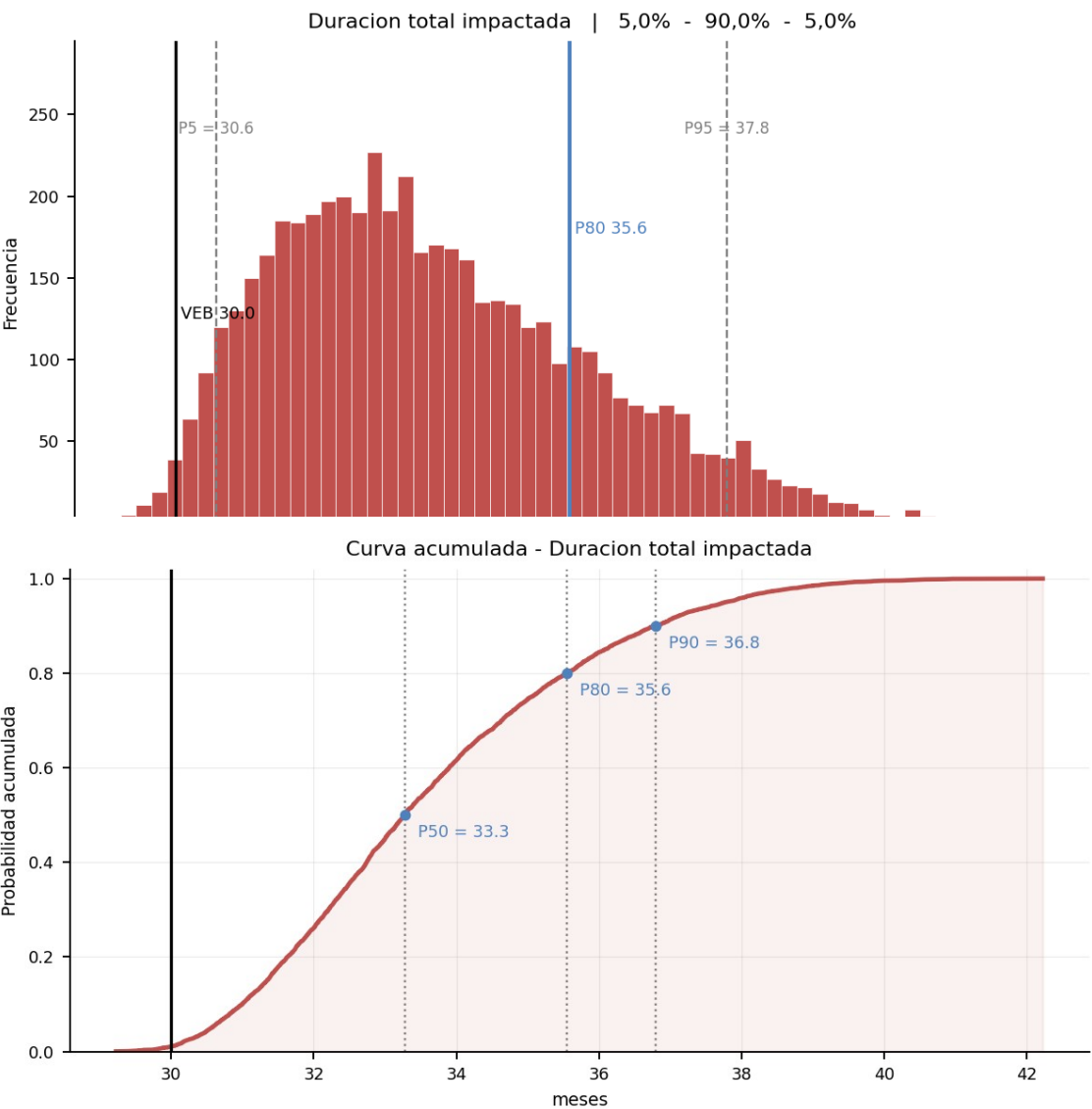


Percentil	Costo (MMUSD)	Contingencia (MMUSD)	% sobre VEB
P10	499,5	19,5	4.1%
P50	537,8	57,8	12.1%
P80	567,3	87,3	18.2%
P90	583,2	103,2	21.5%

Estadístico	MMUSD
Media	539,91
Desviacion estandar	32,35
Minimo	457,48
Maximo	678,33
Asimetria	0,35
Coeficiente de variacion	0,06

Resultado probabilístico de plazo

La reserva de programa se calcula igual que la contingencia de costo



Percentil	Plazo (meses)	Reserva (meses)	% sobre base
P10	31,0	1,0	3.3%
P50	33,3	3,3	10.9%
P80	35,6	5,6	18.5%
P90	36,8	6,8	22.6%

El tiempo se convierte en dinero

Costo dependiente del tiempo: 10,1 MMUSD por mese.

Reserva recomendada al P80: 5,6 meses.

Costo de esa reserva: 56,0 MMUSD, equivalente al 11.7% del CAPEX base.

Primero se calcula la reserva de plazo, despues se valorizan los costos dependientes del tiempo y solo entonces se cierra la contingencia de costo.

Contingencia de costo y reserva de programa

Que se pide autorizar y que probabilidad de exito respalda cada nivel

Nivel	Costo (MMUSD)	Contingencia (MMUSD)	% VEB	Plazo (meses)	Reserva (meses)	% base	Lectura para la decision
P10	499,5	19,5	4%	31,0	1,0	3%	Escenario optimista. No sirve como compromiso.
P50	537,8	57,8	12%	33,3	3,3	11%	Igual probabilidad de exceder que de cumplir. Insuficiente ante penalidad.
P80	567,3	87,3	18%	35,6	5,6	19%	Nivel recomendado. Balance entre exposicion y competitividad.
P90	583,2	103,2	21%	36,8	6,8	23%	Conservador. Justificado si la penalidad o el riesgo reputacional es alto.

Se solicita autorizar 567,3 MMUSD y 35,6 meses, correspondientes al P80.

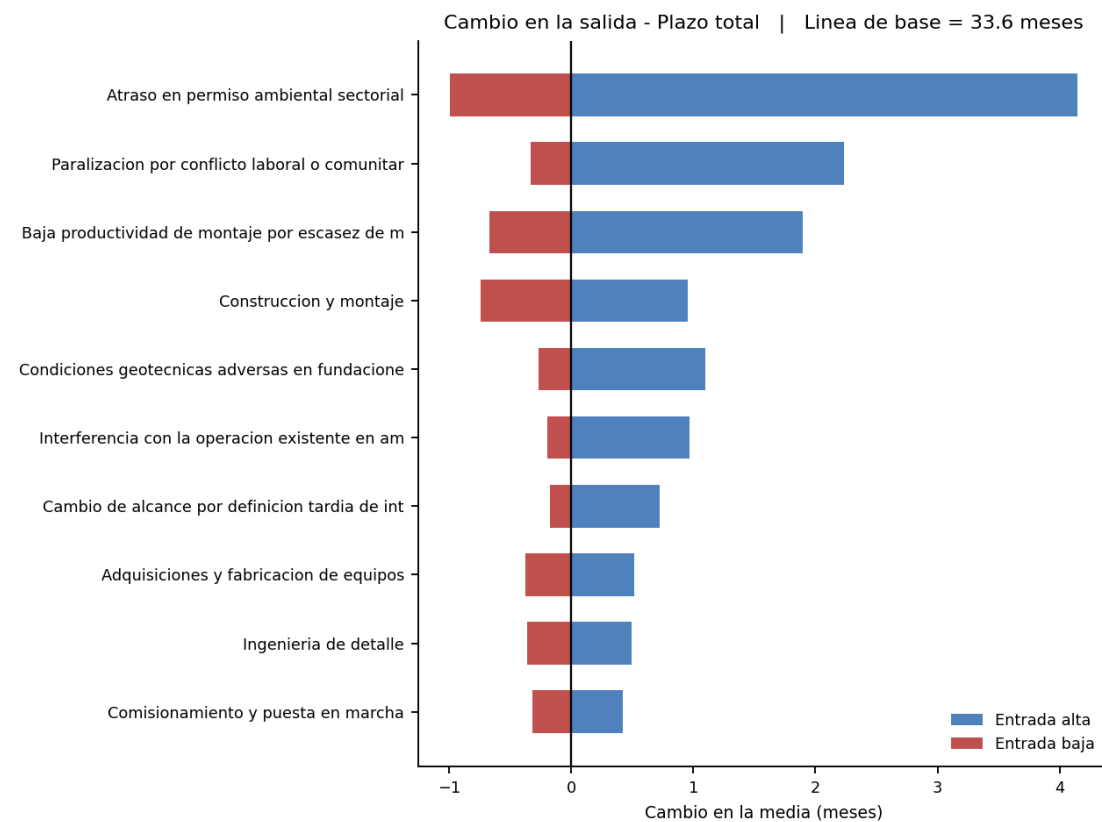
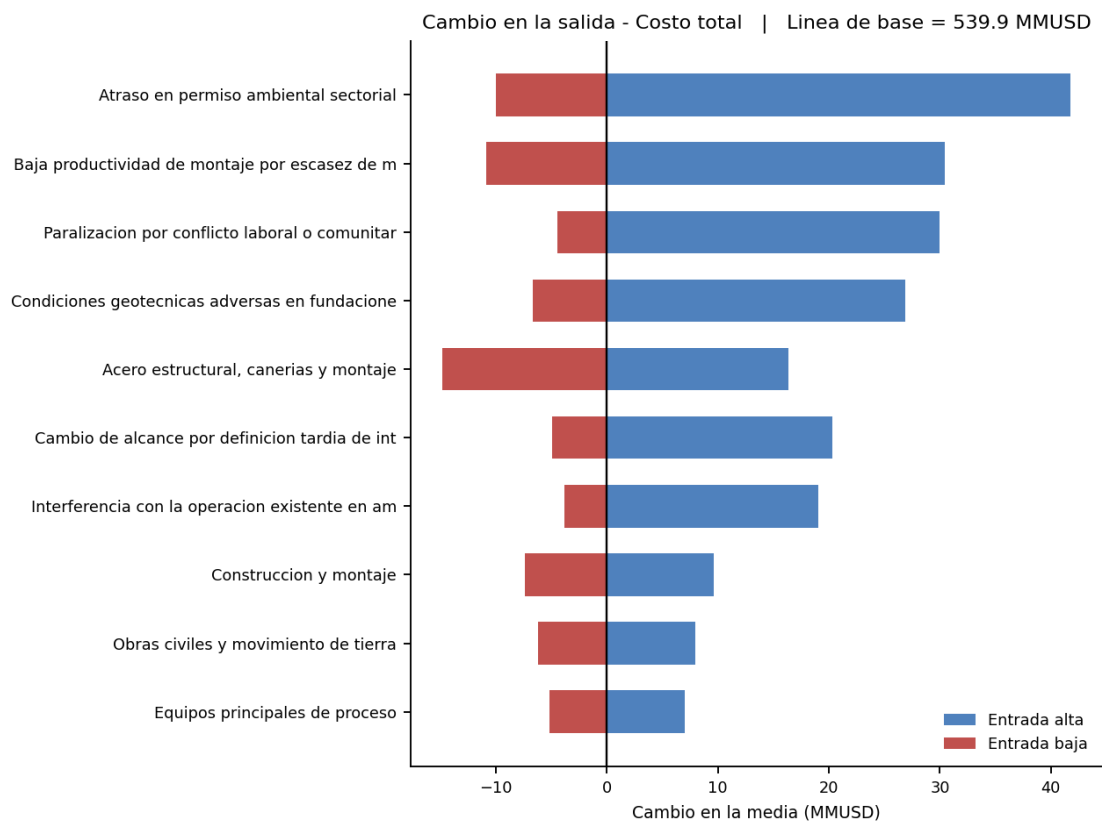
La contingencia cubre incertidumbre y eventos de riesgo del alcance definido. No cubre cambios de alcance ni indefiniciones conocidas de ingenieria.

Errores que este modelo evita explicitamente

Usar la contingencia para financiar cambios de alcance. Reportar solo el P50 sin la cola. Modelar como independientes variables con causa comun. Contar dos veces el mismo fenomeno como rango de duracion y ademas como evento de riesgo.

Principales factores que explican la variabilidad

Tornado de cambio en la salida: donde esta realmente el riesgo



Los tres primeros factores explican el 50% de la variabilidad del costo: **Atraso en permiso ambiental sectorial; Baja productividad de montaje por escasez de mano de obra especializada; Acero estructural, canerias y montaje.**

Sobre estos factores debe concentrarse el plan de mitigacion; el resto es ruido para efectos de gestion.

Efecto en la evaluacion economica

El costo y el plazo se traducen en valor: VAN esperado, VAN seguro y valor en riesgo

VAN ESPERADO (MMUSD)

222,5

VAN determinista de referencia: 320,0

VAN SEGURO P10 (MMUSD)

38,2

Valor que se puede dar por razonablemente asegurado

VALOR EN RIESGO (MMUSD)

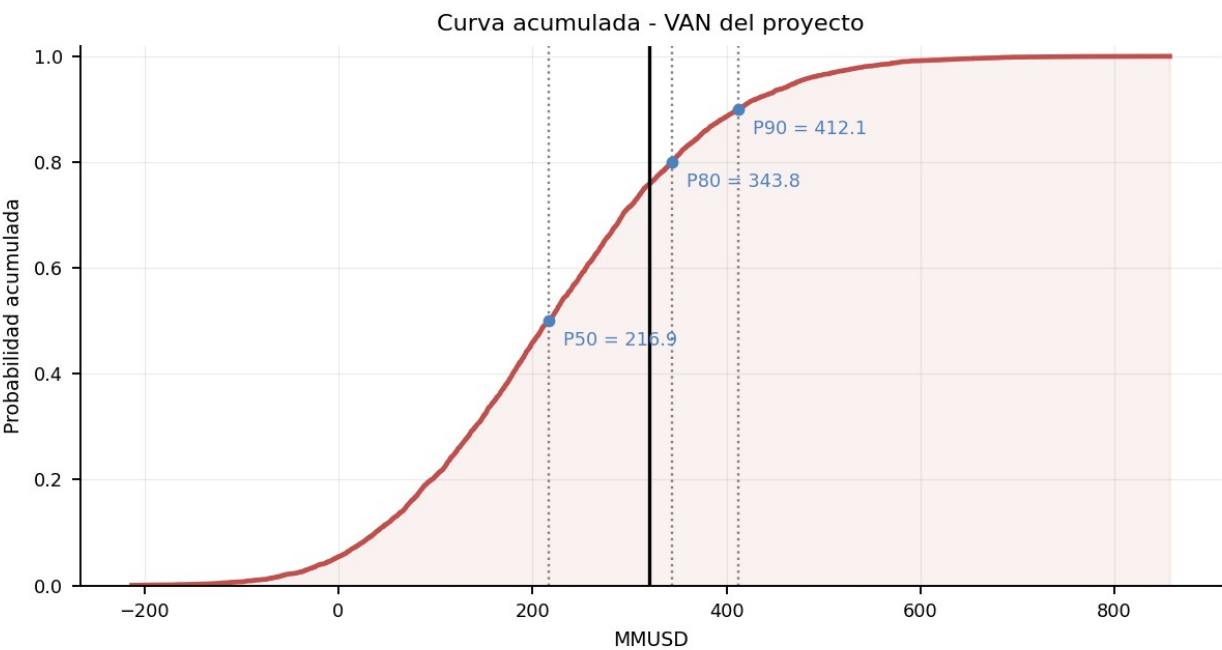
184,3

Diferencia entre valor esperado y valor seguro

PROB. DE PERDIDA

5.4%

Escenarios simulados con VAN negativo



Como leer estas cifras

- El proyecto conserva valor esperado positivo despues de incorporar toda la incertidumbre de costo y plazo.
- El valor en riesgo mide cuanto valor esta expuesto en los escenarios adversos, no cuanto se pierde.
- La probabilidad de perdida es la cifra mas directa para el comite: es la proporcion de escenarios en que el proyecto destruye valor.

Medidas de mitigacion propuestas

Cada medida tiene dueno, fecha, efecto esperado y criterio de verificacion

Riesgo	Medida	Responsable	Fecha	Efecto esperado sobre el modelo
R1	Adelantar la presentacion sectorial y contratar acompanamiento regulatorio dedicado...	Gerente de Permisos	2026-10-31	Reducir la probabilidad de 30% a 18% y acotar el impacto maximo de 6 a...
R4	Contratos de dotacion con anticipacion, plan de alojamiento y bonos de permanencia...	Jefe de Construccion	2026-12-15	Reducir la probabilidad de 40% a 25% y el impacto medio de plazo de 2,0...
R3	Completar la campana geotecnica antes del inicio de fundaciones mayores.	Jefe de Obras Civiles	2026-11-30	Reducir la probabilidad de 30% a 12% y estrechar el rango de impacto de...
R6	Congelar interfaces criticas mediante revision de diseno formal antes de liberar...	Jefe de Ingenieria	2026-11-15	Reducir la probabilidad de 30% a 15%.

Una medida de mitigacion sin dueno, sin fecha y sin criterio de verificacion no es una mitigacion: es una intencion.

El efecto de cada medida se incorpora al modelo solo cuando su implementacion esta verificada, no cuando se compromete.

Cuando debe actualizarse el modelo

El analisis cuantitativo es un instrumento vivo, no un entregable de una sola vez

- Adjudicacion del contrato principal de construccion.
- Obtencion o rechazo del permiso ambiental sectorial critico.
- Desviacion acumulada de avance fisico o de costo comprometido superior a 5% respecto de la linea base.
- Cambio de alcance aprobado por el comite de control de cambios.
- Implementacion verificada de las medidas de mitigacion comprometidas.

Control de calidad del propio modelo

Convergencia verificada: el P80 de costo se estabiliza con variacion menor a 0,5% en las ultimas iteraciones. Semilla 20260803 registrada para reproducibilidad exacta.
Correlaciones logradas verificadas contra los valores objetivo declarados.

Lo que se solicita aprobar

Presupuesto de 567,3 MMUSD

Base 480,0 mas contingencia de 87,3 (18.2%)

Plazo comprometido de 35,6 meses

Base 30,0 mas reserva de programa de 5,6 meses

Nivel de confianza P80

Con una probabilidad de excedencia aceptada de 20%

Plan de mitigacion con dueno y fecha

4 medidas comprometidas sobre los riesgos que dominan la variabilidad

Reglas de actualizacion del modelo

Revision obligatoria ante los gatillos definidos, con nuevo reporte al comite