



CASOS DE NEGOCIO · PLAYBOOK CIRCULAR LATAM

Minería responsable.

Dos casos ilustrativos contruidos con las herramientas del Playbook: la misma ruta de siete etapas aplicada a una mediana y una gran empresa, una asociación aurífera y una mina de cobre, con su flujo de caja, sus brechas y sus indicadores.

Caso 7 · Mediana · Colombia

Asociación aurífera formalizada de Segovia que monta una planta sin mercurio, reparte el oro adicional con sus socios, reprocesa su relave y certifica su oro

Caso 8 · Gran empresa · Perú

Mina de cobre del sur que reencaucha neumáticos gigantes con un contrato por desempeño y recupera agua

Autores

Eddie Ajalcuña · Lorenzo Ortiz

Edición

Circular Club · by Redesign Lab

Año

2026

ANTES DE EMPEZAR · CÓMO LEER ESTE DOCUMENTO

Las empresas son ficticias, los precios y las reglas son reales.

Cada caso recorre las siete etapas del Playbook con una empresa inventada y datos públicos. Sirve para ver cómo se decide.

DATO VERIFICADO

Precio, tasa, norma o volumen con fuente pública: el precio del oro de la LBMA, la prima Fairmined, la retribución por agua del Perú, el programa de reencauche de Codelco. La fuente va al pie de cada página.

SUPUESTO

Valor sin fuente pública, fijado por Circular Club con un rango: la ley del mineral, el capex de la planta, la vida del reencauche. Cada supuesto se prueba en un escenario de la Etapa 3.

PARÁMETRO	CASO 7 · MEDIANA · COLOMBIA	CASO 8 · GRAN EMPRESA · PERÚ
Moneda e impuesto	USD, impuesto estándar de 27%	USD, impuesto estándar de 27%
Costo de capital	13%, mediana empresa	10%, gran empresa
Horizonte	10 años, valor en libros al cierre	
Financiamiento	A capital propio · B fondo no reembolsable por tamaño: mediana 40% hasta USD 500 mil, gran empresa 20% hasta 1 millón · C préstamo de impacto de 70% al 7.5%, 5 años, 6 meses de gracia. DSCR medido en años de operación	

Los casos son de uso regional: todo en USD de hoy, inflación de 2.5%, inversión con 15% de contingencia y depreciación, sin tributos de un país. Coma de miles y punto decimal. Un monto local va después del USD, entre paréntesis, y las tarifas oficiales quedan en moneda local con su USD. El país es contexto de precios, normas y programas. La adaptación por país y tamaño es parte de la consultoría. Las cifras salen de la H02 y la H06.

Etiquete cada cifra como **dato** o **supuesto** antes de llevar su propio caso al comité.

Costo de capital en USD: recomendación de Circular Club con CAPM, prima de riesgo regional y de tamaño (Damodaran, 2026). Tipos de referencia de octubre de 2026: 3.45 PEN/USD y 3,320 COP/USD.

MINERÍA RESPONSABLE · LA CADENA EN UNA PÁGINA

La pequeña minería pierde el metal en el relave y la gran minería pierde vida útil y agua.

Las dos escalas comparten la cadena, mina, planta, relave y cierre, pero el valor se escapa en eslabones distintos. Por eso los dos casos eligen submodelos distintos.

DÓNDE SE PIERDE	PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA	GRAN MINERÍA DE COBRE
Planta	La amalgamación o la gravimetría recuperan de 30% a 40% del oro. El resto va al relave.	La concentradora usa cerca de 3 m3 de agua por t y gran parte se pierde en la relavera (supuesto del caso).
Equipos	Molinos y canalones simples, de baja inversión.	Cada neumático 59/80R63 cuesta más de USD 45,000 y se desecha con el casco sano.
Relave	Relave histórico con ley aprovechable, de 0.5 a más de 2 g/t.	Millones de t por año, cuyo reproceso exige estudios y capex de cientos de millones.
Mercado	El oro sin trazabilidad se vende sin prima.	Compras paga por precio unitario, no por costo por hora.

CASO 7 · POR QUÉ ESTE

Es la oportunidad más grande de la pequeña minería en formalización: recuperar el oro que hoy se pierde sin volver al mercurio y vender con prima. Los datos de precio, prima y recuperación son públicos.

CASO 8 · POR QUÉ ESTE

El reencauche tiene un ancla regional sólida en Codelco y un precio oficial del agua. El reproceso de relaves queda como fase 2, porque no hay un estudio económico publicado que lo respalde.

Mejorar la recuperación sobre mineral nuevo es **eficiencia, no circularidad**. Los dos casos la separan de lo que sí cierra un ciclo.

Fuentes: IGF e IISD (2024), recuperación y ley de relaves · Alibaba (2025), precio del neumático, confianza baja · BioBioChile (2026), Codelco. Para el panorama del sector, vea la *Ficha sectorial · Minería responsable*.

CASO 7 · MEDIANA · COLOMBIA · LA RUTA EN UNA PÁGINA

Una asociación aurífera puede duplicar su oro sin mercurio y el caso es viable con capital propio, con poco margen.

Empresa	Asociación formalizada de pequeña minería aurífera, ficticia, mediana empresa por sus ventas. Mina de veta y planta de beneficio propia	0.58M VAN CON CAPITAL PROPIO, USD TIR de 16.3%, sobre el costo de capital de 13%. Con el fondo de referencia de mediana, de USD 500 mil, sube a 1.08 M.
Lugar	Segovia, Antioquia, Colombia, como contexto de precios, normas y programas	
Flujo	6,000 t de mineral al año, 20 t por día, a 5 g/t: 30 kg de oro contenido	12 → 29.6kg ORO VENDIDO AL AÑO Hoy y en el año 3, con el mismo mineral.
Submodelos	5.5 5.6 1.3 y eficiencia de planta, reportada aparte	
Evaluación	USD, tasa 13%, 10 años, impuesto estándar 27%	

La ruta en una línea

E0 La asamblea da el mandato y cambia el pago a los socios	E1 60% del oro contenido se va al relave sin recuperar	E2 Planta sin mercurio, 5.5 relave, 5.6 agua y prima Fairmined	E3 VAN de USD 0.58 M con capital propio y 1.08 M con fondo. Viable, con poco margen	E4 Metalurgista, cianuro seguro, reservas para diez años y un crédito con más gracia	E5 Pruebas, reservas y reparto, puerta de la asamblea en el mes 6	E6 N4 sube 2.5 veces y N8 debe quedar estable
---	---	---	--	---	--	--

El caso no lo decide el fondo. Lo deciden el reparto con los socios, el precio del oro y las reservas para diez años, porque cualquiera de los tres borra el margen.

Caso ilustrativo construido con las herramientas del Playbook. Resultados: Circular Club, H02 v2 y H06 del caso 07-oro-antioquia (2026).

CASO 7 · ETAPA 0 · MANDATO Y EQUIPO

El mandato lo da la asamblea, porque el cambio toca el bolsillo de cada socio.

En una asociación, nadie puede cambiar la planta común sin el voto de los socios. La Etapa 0 convierte la presión legal y comercial en una decisión de asamblea con dueño y fecha.

ELEMENTO	EN ESTE CASO
Dueño	El representante legal de la asociación, con el jefe de planta como responsable operativo.
Equipo	Cinco personas: jefe de planta, tesorero, líder ambiental, un socio minero elegido por la asamblea y un asesor técnico de un programa de cooperación para oro sin mercurio.
Alcance	Planta de beneficio, relavera y depósito de relave histórico. La mina subterránea queda fuera.
Presión con fecha	La asociación se formalizó bajo la Ley 2250 de 2022 y su título exige trazabilidad. Dejó el mercurio hace poco, como manda la Ley 1658 de 2013, y hoy solo usa gravimetría.
Incentivo interno	Los socios cobran por mineral entregado, no por oro recuperado (supuesto). El caso cambia la regla: 30% del oro adicional va a los socios.

POR QUÉ IMPORTA EN LA REGIÓN

En Colombia, la cooperación internacional para el oro sin mercurio trabaja con unos 2,000 mineros de Segovia, Remedios, Bajo Cauca, Sur de Bolívar y Cauca. Una asociación que llega con mandato, equipo y reparto acordado aprovecha mejor la asistencia técnica que una que llega a pedir equipos.

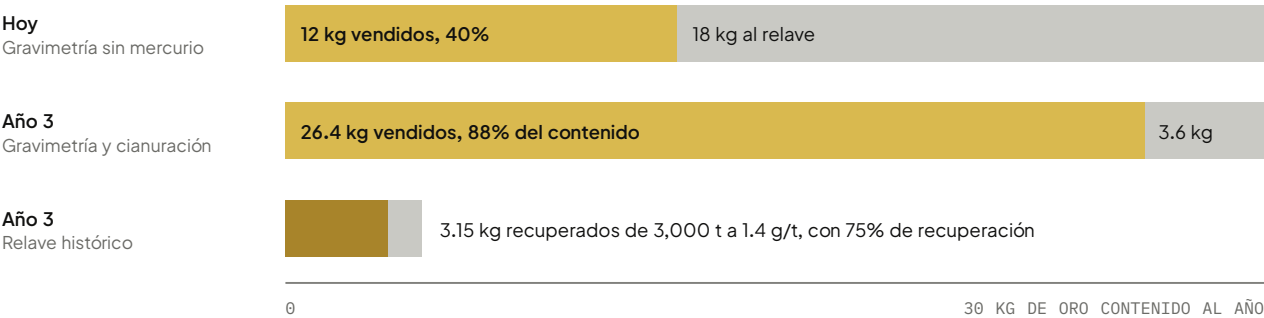
Antes de hablar de planta, acuerde **cómo se reparte el oro adicional**: es el primer costo del caso.

Fuentes: Ley 1658 de 2013 · Ley 2250 de 2022 (Alcaldía de Bogotá, Sisjur) · programas de cooperación para el oro sin mercurio en Colombia. Reparto de 30%: supuesto. Herramientas: H00 y H08.

CASO 7 · ETAPA 1 · BALANCE DE MASA

De cada 10 gramos de oro que entran a la planta, 6 salen con el relave.

El balance se hace en gramos de oro, además de toneladas de roca. Con gravimetría y fundición con bórax, la asociación recupera 12 de los 30 kg que contiene su mineral cada año.



FLUJO AL AÑO	HOY	AÑO 3
Mineral procesado	6,000 t	6,000 t
Relave histórico reprocesado	0	3,000 t
Relave a depósito	6,000 t sin revestir	9,000 t a relavera revestida
Agua captada	18,000 m3	5,500 m3

Recuperación de 40% con gravimetría: supuesto con referencia, entre 30% con amalgamación y hasta 70% con gravimetría bien operada (IGF e IISD, 2024). Ley de 5 g/t, 88% de recuperación y agua: supuestos dentro de los rangos de IGF e IISD (2024) y UPME (2007). Herramientas: H01 y H06.

CASO 7 · ETAPA 1 · CINCO INEFICIENCIAS

La ineficiencia dominante es el valor perdido, y el comprador sin trazabilidad la sostiene.

INEFICIENCIA	NIVEL	CÓMO SE VE EN LA ASOCIACIÓN
1. Materiales y energía no renovables	Medio	Electricidad de red sin certificado. El mercurio salió del proceso, pero sigue en el relave histórico.
2. Capacidad subutilizada	Medio	Molinos que trabajan un turno. La planta común podría procesar el relave histórico.
3. Vidas útiles prematuras	Bajo	Equipos simples y baratos. No es la palanca.
4. Valor perdido al final de la vida	Muy alto	18 kg de oro al año al relave y 20,000 t de relave histórico con unos 28 kg de oro contenido.
5. Relación con el cliente desaprovechada	Alto	Vende a una comercializadora con descuento, sin certificación ni prima.

LENTE DE INCENTIVOS

El pago por mineral entregado premia el volumen, no la recuperación. Y el comprador paga casi lo mismo por oro trazable que por oro sin origen. Mientras eso no cambie, la planta nueva no cambia la conducta.

La fila 4 tiene dos partes: el oro que se pierde hoy es **eficiencia**, el oro del relave histórico es **minería secundaria**.

Nivel: valoración de Circular Club con la H01, a validar en taller con los socios. Oro en relave: 20,000 t x 1.4 g/t, cálculo de este documento con la ley de IGF e IISD (2024).

CASO 7 · ETAPA 2 · SUBMODELOS ELEGIDOS

Primero se deja de perder oro, después se recupera el que ya se perdió.

La regla de combinar hacia adentro ordena el caso: reducir la pérdida en la planta evita relave rico antes de pensar en reprocesarlo.

OPCIÓN	QUÉ HACE	EBITDA AÑO 3, USD MILES
Planta sin mercurio · eficiencia	Gravimetría y cianuración en tanque. Sube la recuperación de 40% a 88% sobre mineral nuevo y paga 30% del oro adicional a los socios. No es circularidad.	736.5
5.5 Minería secundaria	Reprocesa 3,000 t al año del relave histórico, con remoción previa del mercurio.	256.5
1.3 Prima Fairmined	Práctica verificada que protege agua y comunidad. Prima de USD 4,000 por kg.	56.9
5.6 Agua circular	Recircula 75% del agua de proceso y recupera cianuro.	25.1

LO CIRCULAR POR SÍ SOLO

Relave y agua con un tercio de la planta, la relavera y el personal: VAN de USD –0.80 M con capital propio. Lo circular no se sostiene sin la planta completa.

CÓMO LO REGISTRA LA H02

La H02 no tiene un submodelo de eficiencia. El libro carga el oro adicional en la hoja 1.3 como rendimiento adicional, con su costo de producción, y este documento lo reporta aparte.

EBITDA por palanca: H02 v2 del caso, USD nominales del año 3. La eficiencia neta descuenta el pago a los socios y todos los costos de la planta. Lo circular por sí solo: variante de la H02. Descartado: vender el relave a una planta vecina y usarlo como árido (5.2, IE), por mercurio y cianuro. Herramientas: H01, H05 y H07.

CASO 7 · ETAPA 3 · CASO DE VALOR

Con capital propio, la planta se paga y deja USD 0.58 M en diez años.

La obra ocupa el año 0 y la planta arranca en el mes 19. El oro adicional se reparte con los socios, la inversión lleva 15% de contingencia y el relave histórico se agota en el año 9.

USD MILES	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 5	AÑO 8	AÑO 10
Ingresos adicionales	0	1,287.2	1,894.2	2,317.2	2,434.5	2,621.7	2,272.2
EBITDA	0	397.3	782.6	1,074.9	1,129.4	1,216.2	972.9
Inversión	3,398.5	159.7	0	0	58.8	0	0
Impuesto	0	14.8	114.5	193.4	208.1	238.3	172.6
Flujo libre	-3,398.5	64.1	593.3	829.4	855.1	970.0	1,255.0

577

VAN AL 13%, USD MILES

Capital propio. Sin el valor en libros del año 10, el VAN sería de USD 0.44 M: no depende del valor residual.

16.3%

TIR

Tres puntos sobre el costo de capital. Si el oro baja 6.7%, el VAN llega a cero.

0.56M

PARA LOS SOCIOS, AÑO 3

USD por año del oro adicional, además de lo que hoy cobran.

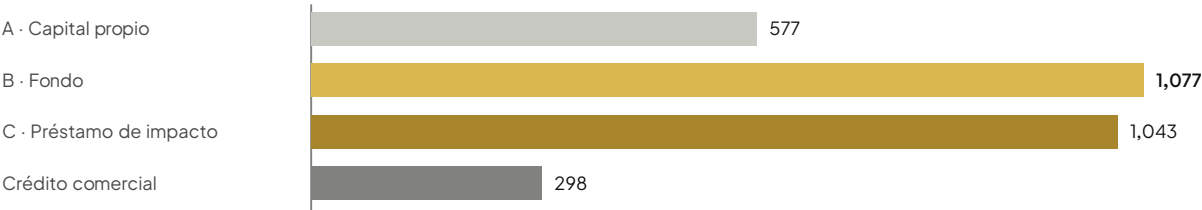
Inversión directa en USD de hoy: planta de 30 t por día 2.41 M, relavera 0.27 M, ingeniería y permisos 0.11 M, remoción de mercurio 0.14 M, agua 0.11 M y medición 0.05 M, que se repone en el año 5. Recuperación simple en 5.2 años y descontada en 8.3. El año 10 incluye USD 0.45 M de valor en libros y capital de trabajo.

Fuente: Circular Club, H02 v2 del caso 07-oro-antioquia (2026), USD nominales con 2.5% de inflación. Precio neto de USD 119.60 por g: USD 4,000 por onza (LBMA, mínimo de 2026 cerca de USD 3,979) x 93% tras descuento comercial (supuesto).

CASO 7 · ETAPA 3 · TRES ESCENARIOS DE FINANCIAMIENTO

El fondo y el préstamo casi duplican el VAN, pero el préstamo necesita más gracia.

ESCENARIO	VAN, USD MILES	TIR	APORTE PROPIO	DSCR MÍNIMO EN AÑOS DE OPERACIÓN
A · Capital propio	577	16.3%	3,398	No aplica
B · Fondo de mediana, 40% hasta USD 500 mil	1,077	19.9%	2,898	No aplica
C · Préstamo de impacto, 70% al 7.5%	1,043	23.9%	1,258	0.56 en el año 1
Referencia · Crédito comercial al 24%	298	15.4%	2,224	0.23 en el año 1



MENSAJE DE LA H02

"El proyecto es viable con capital propio." El préstamo de impacto crea valor, pero no cumple la cobertura mínima de deuda: el primer año de arranque cubre 0.56 veces su servicio. Con 12 meses de gracia y 7 años de plazo, el DSCR mínimo sube a 1.28 y el VAN C a USD 1.19 M.

El fondo de referencia de mediana llega a su tope y cubre 14% de una inversión de USD 3.56 M. Suma USD 0.50 M de VAN, pero **el caso ya se sostiene sin él.**

Fuente: H02 v2 del caso, pestañas de escenarios y Comparación. Préstamo con 12 meses de gracia y 7 años: variante de la H02. La cooperación para el oro sin mercurio da asistencia técnica y acceso a crédito, no subsidia la planta.

CASO 7 · ETAPA 4 · CAPACIDADES, COMPETENCIAS Y TECNOLOGÍA

La planta se compra en un año, operar cianuro con seguridad toma más tiempo.

En este caso la Etapa 4 pesa tanto como la Etapa 3. La recuperación de 88% supone una planta bien operada, un relave bien manejado y reservas medidas.

DIMENSIÓN	BRECHA	DECISIÓN
Capacidades · H03	C4 Producir: de gravimetría a operar cianuración y detoxificación. C7 Datos: balance metalúrgico diario y oro por socio.	Construir, con la cooperación técnica
Competencias · H12	Falta un metalurgista y un geólogo que mida reservas. Nadie en la asociación arma un caso para un fondo o un banco.	Contratar metalurgista, formar al tesorero
Tecnología e IA · H04	Gravimetría, cianuración en tanque, detox y ensayo al fuego. Madurez en IA de nivel 1 a nivel 2: registrar cada lote.	Alquilar ingeniería y laboratorio
Cultura · H08	Socios que desconfían de la planta común y del pago por oro medido.	Construir con reglas y auditoría
Socios · H09	Certificador Fairmined, un programa de cooperación técnica, un cofinanciador, comprador de oro trazable y laboratorio externo.	Asociarse

La competencia que más falta no es técnica: es **negociar un crédito con un caso creíble** y saber si quedan diez años de mineral.

Brechas: valoración de Circular Club con las H03, H04, H08, H09 y H12. Cooperación para el oro sin mercurio: asistencia técnica, transferencia de tecnología y acceso a crédito.

CASO 7 · ETAPA 5 · PILOTO Y PUERTA DE DECISIÓN

El piloto no prueba la planta, prueba las cifras que deciden el caso.

M0 a M6 Mida recuperación, relave, mercurio y reservas

Pruebas en botella y columna sobre mineral y relave, 30 muestras del depósito histórico, especiación de mercurio y estimación de reservas por un geólogo.

Dentro de los USD 114,500 de ingeniería y permisos del año 0.

M0 a M6 Acuerde el reparto y negocie el financiamiento

Asamblea que aprueba 30% del oro adicional para los socios. Postulación a un cofinanciador y a un préstamo de impacto con 12 meses de gracia, con el caso de la H02.

M6 Puerta de decisión de la asamblea

Se construye solo si se cumplen los criterios del recuadro.

M7 a M18 Construya y obtenga el permiso

Planta, relavera revestida y modificación del instrumento ambiental. Arranque en el mes 19 con 75% de recuperación y auditoría Fairmined en el año 2.

CRITERIOS DE LA PUERTA

Recuperación de 85% o más en pruebas · ley del relave de 1.2 g/t o más y mercurio removible · reservas medidas para diez años o más · fondo o préstamo con gracia de 12 meses comprometido · reparto firmado con los socios.

Secuencia: propuesta de Circular Club con la H11, igual a la de la H02 (obra en el año 0, operación desde el año 1). Umbrales: supuestos ligados a los escenarios de la Etapa 3.

CASO 7 · ETAPA 6 · INDICADORES N1 A N8

La productividad del material sube 2.5 veces y el mineral extraído debe quedar igual.

INDICADOR	LÍNEA BASE	META AÑO 3	EVIDENCIA
N1 · % entrada circular	0%	33.2%	Pesaje del relave reprocesado
N2 · % salida circular	0%	0%	El relave nuevo va a relavera
N3 · % circularidad material	0%	16.6%	Promedio ponderado por masa
N4 · USD por t de entrada lineal	239	593	Liquidaciones de venta
N5 · Recirculación de agua, veces	1.0	4.1	Caudalímetros
N6 · % energía renovable	0%	0%	Red sin certificado
N8 · Material virgen, t al año	6,002	6,045	Pesaje de mineral y reactivos

N7 no se estima: no hay factor de emisión verificado para el oro evitado. Indicadores del sector: 75.6% del agua recirculada y 33.3% del relave procesado viene del depósito histórico.

Si el oro caro lleva a procesar 8,000 t en vez de 6,000, **N4 sube y N8 también**. Eso es rebote, no circularidad.

Fuente: Circular Club, H06 del caso 07–oro-antioquia (2026), frontera de planta, relavera y depósito histórico. Línea base de N4: 12 kg × USD 119.60 por g sobre 6,002 t, cálculo de este documento.

CASO 7 · RIESGOS Y SUPUESTOS CRÍTICOS

El reparto y el precio del oro borran el valor del caso, incluso con el fondo de mediana.

SUPUESTO	VALOR BASE	VAN A	VAN B	CÓMO SE PRUEBA
Base	Ver Etapa 3	577	1,077	H02 v2
Reparto con socios: 50%	30%	-886	-386	Acuerdo de asamblea antes de la puerta
Oro 20% más barato	USD 4,000 por onza	-669	-169	Se cubre con contratos de venta
Capex 20% mayor	USD 3.14 M directos	-26	474	Tres cotizaciones de planta instalada
Sin reproceso de relave	3,000 t al año	20	520	Especiación de mercurio en el piloto

AVISO DE LECTURA

Un caso minero con oro caro puede leerse como invitación a extraer más. Este caso se aprueba con el mismo mineral: 6,000 t al año. Si la asamblea decide ampliar la extracción, el proyecto deja de ser circular y debe reportarse como expansión, con su N8.

Efectos en USD miles: H02 v2 del caso, un libro por escenario. VAN A con capital propio y VAN B con el fondo de mediana de USD 500 mil. Con oro más barato se ajustan el reparto y el valor del relave. Sin reproceso, el VAN A depende del valor residual. Cianurar relave con mercurio es un riesgo técnico y legal: el cianuro moviliza mercurio, por eso la puerta exige especiación.

CASO 8 · GRAN EMPRESA · PERÚ · LA RUTA EN UNA PÁGINA

El reencauche paga el agua que la tarifa no paga, y el caso es viable con capital propio.

Empresa	Mina de cobre a tajo abierto, ficticia. 60 camiones de acarreo y 360 posiciones de neumático
Lugar	Sur del Perú, zona de baja disponibilidad de agua, como contexto
Flujo	400 neumáticos 59/80R63 al año, unas 1,600 t, y una concentradora de 60,000 t por día
Submodelos	4.4 3.3 5.6 y relaves 5.5 como fase 2 sin modelar
Evaluación	USD, tasa 10%, 10 años, impuesto estándar 27%

+2.75M

VAN DEL REENCAUCHE, USD

Con el contrato por desempeño. TIR de 35.3% y recuperación en 3.5 años.

-2.16M

VAN DEL AGUA, USD

Juntos suman USD 0.83 M con capital propio, TIR de 13.3%.

La ruta en una línea

E0 Mantenimiento lidera, con compras en el equipo desde el primer día	E1 400 neumáticos al año, unas 1,600 t, salen con el casco sano	E2 4.4 reencauche, 3.3 contrato por hora y 5.6 agua circular	E3 VAN de USD 0.83 M con capital propio. El agua resta valor	E4 Compras debe contratar costo por hora y medir horas de cada casco	E5 60 reencauches en diez camiones, puerta del comité en el mes 12	E6 N8 baja de 1,600 a 1,374 t y N2 sube a 45%
--	--	---	---	---	---	--

El contrato por desempeño convierte un ahorro de mantenimiento en una decisión de compras.

Caso ilustrativo construido con las herramientas del Playbook. Resultados: Circular Club, H02 v2 y H06 del caso 08-cobre-sur (2026). VAN por submodelo: un libro H02 por componente.

CASO 8 · ETAPA 0 · MANDATO Y EQUIPO

El dueño es mantenimiento, pero el caso se gana o se pierde en compras.

Compras evalúa a sus analistas por precio unitario. Un contrato por costo por hora rompe esa regla, así que compras entra al equipo desde el primer día.

ELEMENTO	EN ESTE CASO
Dueño	Gerente de mantenimiento mina, con el gerente de operaciones como patrocinador.
Equipo	Superintendente de neumáticos, un comprador senior, un analista de finanzas, medio ambiente para el agua y relaciones comunitarias.
Alcance	Neumáticos de la flota de acarreo y circuito de agua de la concentradora. Mineral, desmante y relave quedan fuera.
Presión con fecha	Nueva retribución por agua desde el 1 de enero de 2026. Escasez de neumáticos gigantes. Unas 4 t de residuo por neumático.
Incentivo interno	Compras gana si baja el precio unitario. El proveedor gana si vende más neumáticos.

POR QUÉ IMPORTA EN LA REGIÓN

La referencia es regional, no europea. En Chuquicamata, Codelco reencauchó 321 neumáticos de más de 4.5 m entre enero de 2024 y junio de 2025, evitó 121 nuevos y 1,293 t de residuo, y ahorró unos USD 2.2 millones, según la empresa.

Mientras compras se mida por precio unitario, el neumático nuevo siempre gana.

Fuentes: DS 020–2025–MIDAGRI (El Peruano, 2025) · BioBioChile (2026), Codelco · peso por neumático: 1,293 t / 321, cálculo de este documento. Herramientas: H00 y H08.

CASO 8 · ETAPA 1 · BALANCE DE MASA

La mina desecha 1,600 t de neumáticos al año con el casco todavía sano.

El balance se hace por neumático y por tonelada. Hoy, cada neumático que entra sale a disposición. En el año 3, 250 cascos vuelven a la flota con una banda nueva.

ENTRADAS A LA FLOTA, T

Hoy	1,600 t, 400 nuevos	
Año 3	1,224 t, 306 nuevos	1,000 t, 250 reencauchados

SALIDAS DE LA FLOTA, T

Hoy	1,600 t a disposición	
Año 3	1,224 t a disposición	1,000 t de cascos a reencauche

FLUJO AL AÑO	HOY	AÑO 3	
Agua usada en la concentradora		65.7 Mm3	65.7 Mm3
Agua fresca captada		13.1 Mm3	11.1 Mm3
Neumáticos nuevos evitados		0	94

Supuestos del caso: 400 neumáticos al año de 4 t, 3 m3 de agua por t de mineral y 0.6 m3 de agua fresca por t. Equivalencia de 0.377 nuevos por reencauche: Codelco, 121 / 321 (BioBioChile, 2026). Herramientas: H01 y H06.

CASO 8 · ETAPA 1 · CINCO INEFICIENCIAS

La ineficiencia dominante es la vida útil prematura, y la produce la forma de comprar.

INEFICIENCIA	NIVEL	CÓMO SE VE EN LA MINA
1. Materiales y energía no renovables	Alto	Caucho sintético, acero y negro de humo en cada neumático. Agua fresca bombeada en zona escasa.
2. Capacidad subutilizada	Medio	Camiones detenidos cuando falta un neumático en temporada de escasez (supuesto).
3. Vidas útiles prematuras	Muy alto	El casco se desecha tras la primera banda. Sin monitoreo, la presión y la temperatura acortan la vida.
4. Valor perdido al final de la vida	Alto	1,600 t al año de neumáticos fuera de uso. Agua que se evapora en la relavera.
5. Relación con el proveedor desaprovechada	Alto	Compra por unidad, sin datos compartidos ni garantía de horas.

LENTE DE INCENTIVOS

Compras premia el menor precio unitario y el proveedor gana por neumático vendido. Ninguno de los dos gana si el casco dura más. El contrato por costo por hora alinea a los dos con la mina.

La fila 3 no se resuelve con mejor caucho: se resuelve **cambiando qué se compra.**

Nivel: valoración de Circular Club con la H01, a validar en taller con mantenimiento y compras. Codelco busca valorizar 70% de sus residuos no peligrosos a 2030 (BioBioChile, 2026).

CASO 8 · ETAPA 2 · SUBMODELOS ELEGIDOS

El contrato por desempeño es el habilitador, el reencauche es el que genera la caja.

Combinar hacia adentro lleva primero a mantener y monitorear, después a reencauchar. El reciclaje del neumático viene recién al final.

SUBMODELO	QUÉ HACE	EBITDA AÑO 3, USD MILES
4.4 Remanufacturar	Reencaucha 250 cascos al año en la planta del proveedor. Cada uno evita 0.377 neumáticos nuevos.	1,304
3.3 Desempeño	El proveedor cobra por hora, financia la planta y monitorea presión y temperatura.	-247
5.6 Agua circular	Recupera 2 millones de m3 al año de espesadores y relavera.	247

DESCARTADO

Neumáticos a coprocesamiento en cementera: recuperación de energía, fuera del ciclo. Reproceso de relaves (5.5): fase 2, sin estudio económico publicado.

CÓMO LO REGISTRA LA H02

El valor de los neumáticos nuevos evitados entra en la fila de venta de remanufacturados de la hoja 4.4, a 37.7% del precio de uno nuevo.

EBITDA por submodelo: H02 v2 del caso, USD nominales del año 3. El de 3.3 es el costo de la mina: dos personas y la plataforma de monitoreo. No cuenta la vida extra del neumático nuevo por el monitoreo, criterio conservador. Reencauche como remanufactura: casco restaurado en planta y vendido con garantía. Herramientas: H01, H05 y H07.

CASO 8 · ETAPA 3 · CASO DE VALOR

El caso completo crea USD 0.83 millones con capital propio, y 60% viene del valor residual.

La mina invierte USD 5.08 millones con contingencia, casi tres cuartos en agua en el año 1. En USD de hoy, el reencauche ahorra unos USD 2.7 por hora de camión, 5.5% del gasto actual en neumáticos.

USD MILES	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 10
Neumáticos nuevos evitados	0	1,043.3	2,851.8	4,567.4	5,429.2
EBITDA	0	62.7	647.8	1,303.7	1,549.7
Inversión	1,196.6	3,881.3	0	0	309.2 en el 6
Impuesto	0	0	0	170.5	300.7
Flujo libre	-1,196.6	-3,947.3	424.9	921.6	2,517.7

825

VAN AL 10%, USD MILES

Capital propio. Sin valor residual sería de USD 330,000.

13.3%

TIR

Recuperación simple en 6.6 años y descontada en 9.3.

+2.75M

VAN DEL REENCAUCHE SOLO

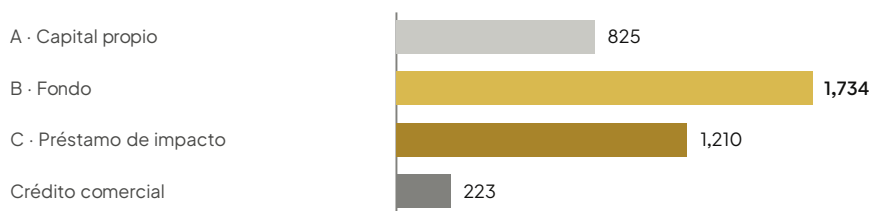
TIR de 35.3%. El agua sola resta USD 2.16 M.

Fuente: Circular Club, H02 v2 del caso 08–cobre-sur (2026), USD nominales con 2.5% de inflación. El año 10 incluye USD 1.29 M de valor en libros y capital de trabajo. Por hora de camión: 60 camiones × 6,000 horas, supuesto. Por componente: variantes de la H02.

CASO 8 · ETAPA 3 · TRES ESCENARIOS DE FINANCIAMIENTO

El caso es viable con capital propio, y el fondo de referencia le suma USD 0.9 millones.

ESCENARIO	VAN, USD MILES	TIR	APORTE PROPIO	DSCR MÍNIMO EN AÑOS DE OPERACIÓN
A · Capital propio	825	13.3%	5,144	No aplica
B · Fondo gran empresa, 20% hasta USD 1M	1,734	17.9%	4,144	No aplica
C · Préstamo de impacto, 70% al 7.5%	1,210	17.9%	1,778	0.69 en el año 2
Referencia · Crédito comercial al 24%	223	11.2%	3,309	0.29 en el año 2



MENSAJE DE LA H02

"El proyecto es viable con capital propio." El préstamo de impacto no cumple la cobertura: 0.69 en el año 2. Alerta: 60% del VAN con capital propio viene del valor residual.

Para una gran minera, el fondo no decide el caso: decide **si el agua entra o no**. Aun con el fondo de referencia, el agua sola resta USD 1.45 M: se aprueba por continuidad operativa.

Fuente: H02 v2 del caso, pestañas de escenarios y Comparación. El fondo de referencia para gran empresa es 20% hasta USD 1 M, y para una gran minera es poco común: el escenario muestra su efecto, no un fondo identificado.

CASO 8 · ETAPA 4 · CAPACIDADES, COMPETENCIAS Y TECNOLOGÍA

La brecha principal es comprar resultados, y está en compras y finanzas.

La mina sabe operar neumáticos. Lo que no sabe es contratar horas, medir la vida de cada casco y repartir el ahorro con el proveedor.

DIMENSIÓN	BRECHA	DECISIÓN
Capacidades · H03	C3 Abastecer: aceptar reencauchados en la política técnica. C6 Recuperar: retorno ordenado de cascos al proveedor.	Construir
Competencias · H12	Compradores sin costo total de propiedad. Nadie negoció antes un contrato por resultado con penalidades.	Formar compras, asesor legal externo
Tecnología e IA · H04	Sensores de presión y temperatura, trazabilidad por número de serie y un modelo de vida por posición. Madurez en IA de nivel 3 a nivel 4.	Alquilar la plataforma del proveedor
Cultura · H08	Operadores que desconfían del reencauchado. Regla inicial: solo en posiciones traseras (supuesto).	Construir con datos del piloto
Socios · H09	Reencauchador con planta en el sur, transportista de cascos y gestor de neumáticos fuera de uso.	Asociarse

Sin datos de horas por casco, el contrato por desempeño **no se puede auditar** y el ahorro no se puede repartir.

Brechas: valoración de Circular Club con las H03, H04, H08, H09 y H12. Niveles de madurez en IA: Playbook Circular LatAm, Etapa 4.

CASO 8 · ETAPA 5 · PILOTO Y PUERTA DE DECISIÓN

Sesenta reencauches en diez camiones prueban la cifra que más mueve el caso.

M0 a M3 Construya la línea base de costo por hora

Horas por neumático y por posición, causas de baja y gasto de los últimos 12 meses.

H06 para la masa y H02 para el costo. Incluido en los USD 145,000 de diseño del contrato.

M3 a M12 Pruebe 60 reencauches con sensores

Posiciones traseras de diez camiones, con un contrato puente por reencauche en la planta existente del proveedor.

M12 Puerta de decisión del comité de inversiones

Se firma el contrato por desempeño a ocho años solo si se cumplen los criterios del recuadro.

M12 a M24 Escale y decida el agua por separado

El proveedor instala la planta en el sur. El agua tiene su propia puerta, con criterio de continuidad operativa.

CRITERIOS DE LA PUERTA

Cada reencauche rinde 40% o más de las horas de un nuevo · costo de 25% o menos del nuevo, garantizado por contrato · 70% o más de cascos aceptados · cero incidentes de seguridad atribuibles al reencauche.

Secuencia: propuesta de Circular Club con la H11. Umbrales: supuestos ligados a los escenarios de la Etapa 3. 40% de horas: margen sobre el 37.7% equivalente de Codelco.

CASO 8 · ETAPA 6 · INDICADORES N1 A N8

Aquí N4 sube y N8 baja: la flota hace el mismo trabajo con menos caucho nuevo.

INDICADOR	LÍNEA BASE	META AÑO 3	EVIDENCIA
N1 · % entrada circular	0%	38.2%	Actas de reencauche por serie
N2 · % salida circular	0%	45.0%	Guías de cascos al proveedor
N3 · % circularidad material	0%	41.6%	Promedio ponderado por masa
N4 · USD por t de entrada lineal	788,063	917,686	Ingresos sobre caucho virgen
N5 · Recirculación de agua, veces	5.0	5.9	Balance hídrico medido
N8 · Material virgen, t al año	1,600	1,374	Compras y pesaje

N6 queda fuera de la frontera. N7 no se estima por falta de un factor de emisión verificado. Indicadores del sector: agua recirculada de 80% a 83.0% y relaves valorizados en 0%, a la espera de la fase 2.

Reporte el reencauche como **neumáticos evitados con evidencia**, no como toneladas de residuo, para no contar dos veces el mismo casco.

Fuente: Circular Club, H06 del caso 08–cobre-sur (2026), frontera de neumáticos de acarreo y agua de concentradora. Ingresos de USD 1,261 M: supuesto de producción de cobre a USD 14,500 por t, solo para N4.

CASO 8 · RIESGOS Y SUPUESTOS CRÍTICOS

El riesgo mayor es el par de costo y vida del reencauche, y el contrato por hora se lo pasa al proveedor.

ESCENARIO	VALOR BASE	VAN A	VAN B	CÓMO SE CUBRE
Base	Costo 25%, vida 0.377	825	1,734	H02 v2
Par de Kal Tire: costo 50%, vida 70%	Codelco, conservador	4,147	5,056	Garantía de horas en el contrato
Par bajo: costo 45%, vida 50%	Codelco, conservador	-3,322	-2,413	Piloto de 60 y pago por hora
Neumático nuevo 20% más barato	USD 45,000	-361	548	Cotización de tres fabricantes
Capex 20% mayor	USD 4.42 M directos	47	956	Ingeniería del agua

FASE 2 SIN MODELAR · RELAVES

Quiulacocha, en Cerro de Pasco, tiene de 70 a 75 Mt de relaves y un capex anunciado de USD 315 a 400 M, sin evaluación económica preliminar publicada. El DLeg 1670 de 2024 abrió el reaprovechamiento de pasivos. Mida y caracterice sus depósitos antes de modelar.

Efectos en USD miles: H02 v2 del caso, un libro por escenario, con pares coherentes de costo y vida del reencauche. Kal Tire (2025): de 40% a 60% del precio y hasta 80% de la banda. Quiulacocha: Rumbo Minero (2025 y 2026), Crux Investor, confianza media · DLeg 1670 y Ley 28271 (El Peruano).

MINERÍA RESPONSABLE · LOS DOS CASOS LADO A LADO

Las dos son viables con capital propio, pero la mediana tiene poco margen.

Con capital propio, la asociación recupera sus USD 3.56 M en 5.2 años y crea valor en diez, pero su VAN se pierde si el oro baja 6.7% o si el reparto con los socios sube a 50%. La mina se paga sola con el reencauche, pero decide invertir en agua que la tarifa no paga.

DIMENSIÓN	CASO 7 · MEDIANA · COLOMBIA	CASO 8 · GRAN EMPRESA · PERÚ
Tasa y horizonte	13% a 10 años	10% a 10 años
Inversión con contingencia	USD 3.56 M	USD 5.08 M
VAN A · B · C, USD M	0.58 · 1.08 · 1.04	0.83 · 1.73 · 1.21
Mensaje de la H02	Viable con capital propio	Viable con capital propio
Qué crea el valor	La eficiencia sin mercurio, 69% del EBITDA del año 3	El reencauche, con VAN de USD 2.75 M
Supuesto que más mueve	Reparto con los socios y precio del oro	Par de costo y vida del reencauche
Indicador que vigilar	N8 estable mientras N4 sube 2.5 veces	N8 baja 14% y N2 llega a 45%

La mediana necesita **reservas medidas para diez años y un crédito con la gracia correcta**. La gran empresa necesita **comprar distinto**. El mismo método encuentra las dos brechas.

Fuente: H02 v2 y H06 de los casos 07–oro–antioquia y 08–cobre–sur (Circular Club, 2026), en USD nominales. A capital propio, B fondo de referencia por tamaño, C préstamo de impacto de 70% al 7.5%.

SUPUESTOS, FUENTES Y DESCARGAS · CASO 7

En el caso aurífero, los precios son datos y la geología es supuesto.

PARÁMETRO	VALOR USADO	TIPO	FUENTE O RANGO
Tamaño	Mediana empresa, ventas de USD 1.4 M hoy y 3.6 M en el año 3	SUPUESTO	Asociación formalizada con planta de beneficio propia. Define tasa, horizonte y fondo
Precio del oro	USD 4,000 por onza	DATO VERIFICADO	Kitco y LBMA (2026): mínimo de USD 3,978.55 y promedio de 4,595.75
Prima Fairmined	USD 4,000 por kg	DATO VERIFICADO	fairmined.org. La ecológica paga USD 6,000
Reparto con los socios	30% del oro adicional	SUPUESTO	Escenario con 50%. Acordar en asamblea
Recuperación actual	40%, gravimetría sin mercurio	SUPUESTO CON REFERENCIA	30% con amalgamación y hasta 70% con gravimetría, IGF e IISD (2024)
Recuperación nueva	75%, 85% y 88% desde el año 3	SUPUESTO	Más de 90% con agitación, UPME (2007)
Leyes	Mineral 5 g/t, relave 1.4 g/t en 20,000 t	SUPUESTO	Rangos de 1 a 8 g/t y relave evaluado, IGF e IISD (2024)
Capex de planta	USD 2.41 M por 30 t al día, más 15%	SUPUESTO	Rango de USD 1.8 a 3.3 M: proyecto tipo del DNP (2018) escalado
Descuento comercial	7% del precio	SUPUESTO	Sin serie pública, consultar a comercializadoras

Costos de personal, reactivos, certificación, agua y reproceso: supuestos detallados en las notas del archivo de especificación del caso y en la pestaña Parámetros de la H02 v2.

Tasa de 13%: costo de capital de mediana empresa en USD, recomendación de Circular Club (Damodaran, 2026). Sin regalía ni tributos de Colombia: la adaptación por país es parte de la consultoría.

SUPUESTOS, FUENTES Y DESCARGAS · CASO 8

En el caso de cobre, el ancla es Codelco y el resto se prueba en el piloto.

PARÁMETRO	VALOR USADO	TIPO	FUENTE O RANGO
Programa de reencauche	0.377 nuevos por reencauche	DATO VERIFICADO	Codelco: 321 reencauchados, 121 evitados, USD 2.2 M (BioBioChile, 2026)
Retribución por agua	USD 0.110 por m3	DATO VERIFICADO	DS 020-2025-MIDAGRI, de S/ 0.127 a 0.381 por m³ (USD 0.037 a 0.110)
Precio del neumático	USD 45,000	SUPUESTO CON REFERENCIA	Alibaba (2025), confianza baja. Pedir tres cotizaciones
Costo del reencauche	25% del nuevo	SUPUESTO	Par con vida 0.377, calibrado con Codelco. Escenarios con pares de Kal Tire
Flota y consumo	60 camiones, 400 neumáticos	SUPUESTO	Validar con el registro de bajas de la mina
Agua recuperada	2 Mm3 al año, USD 3.29 M	SUPUESTO	Validar con ingeniería de espesadores

DESCARGAS · ENTREGABLES/CASOS/HERRAMIENTAS/

CC-02-Caso-de-valor-07-oro-antioquia.xlsx · CC-06-Indicadores-07-oro-antioquia.xlsx · CC-02-Caso-de-valor-08-cobre-sur.xlsx · CC-06-Indicadores-08-cobre-sur.xlsx. Cambie cualquier supuesto en la hoja Supuestos o en las palancas, y la H02 v2 recalcula el VAN, la TIR y los tres escenarios de financiamiento.

Tasa de 10%: costo de capital de gran empresa en USD, recomendación de Circular Club (Damodaran, 2026). Sin participación de trabajadores, regalía ni IEM del Perú: la adaptación por país es parte de la consultoría.

CIERRE · CASOS DE NEGOCIO MINERÍA RESPONSABLE

Un caso minero circular se decide en el reparto, la reserva y el contrato.

Los dos casos usan la misma ruta y las mismas herramientas. Cambian el reparto del valor, la capacidad de operar y la forma de comprar. Lleve su propio caso a la H02, pruebe los tres escenarios de financiamiento y adapte los tributos de su país antes de invertir.

HERRAMIENTAS USADAS EN ESTOS CASOS

HERR. 01

Desarrollo de modelo de negocio: cinco ineficiencias y submodelos.

HERR. 02

Caso de valor: flujo, VAN, TIR y escenarios con su tasa.

HERR. 06

Indicadores: N1 a N8, con N4 y N8 juntos.

HERR. 10

Financiamiento: cooperación técnica, prima y desarrollo de proveedores.

HERR. 11

Hoja de ruta: piloto, puerta de decisión y escala.

HERR. 12

Competencias: metalurgia, compras por resultado y finanzas.

INVITACIÓN

Circular Club diagnostica flujos de materiales, arma casos de valor con la tasa real de cada empresa y acompaña pilotos con métricas auditables, alineadas con la familia ISO 59000. Si su asociación o su mina quiere probar uno de estos casos, escríbanos.



Redesign Lab.

TRABAJEMOS SU CASO

circularclub.la
circularclub@redesignlab.org
Lima y Bogotá

PUBLICACIÓN

Eddie Ajalcuña · Lorenzo Ortiz
2026

Referencias: IGF e IISD (2024) · Fairmined · LBMA y Kitco (2026) · BioBioChile y Codelco (2026) · DS 020-2025-MIDAGRI · Damodaran (2026). H02 y H06: Redesign Lab a partir de Nordic Innovation.