

MANUAL CONCEPTUAL Y APLICADO

Evaluación financiera y socioambiental de inversiones

*Modelo ESG Challenge · Caso ChallengeESG Corp — Edición Estudiante (sin
soluciones)*

Contenido

Resultados de aprendizaje.....	3
1. Propósito del manual y regla de juego.....	3
2. El problema de decisión: alternativas excluyentes bajo restricciones.....	3
3. Fundamentos de valoración: FCFF y sus métricas.....	4
4. Consistencia nominal, real y monetaria.....	5
5. Costo de capital: construcción reproducible y greenium.....	5
6. Tratamiento terminal: cierre, continuidad y reposición.....	6
7. Externalidades, precios sombra y transferencias.....	7
8. Clima: cuatro precios que no deben confundirse.....	8
9. Salud: la cadena epidemiológica y un dato deliberadamente simulado.....	9
10. La tasa social de descuento.....	10
11. Trabajo: salario sombra y transición.....	10
12. Internalización por canales, después de impuestos.....	10
13. Gobernanza y divulgación: la G que sostiene a la E y la S.....	12
14. LCOA y la curva marginal de abatimiento.....	13
15. La decisión: proceso, no número.....	14
16. Criticidad de supuestos, sensibilidades y puntos de equilibrio.....	14
17. Recorrido hoja por hoja y mapa del archivo.....	14
18. Limitaciones declaradas y ética de la monetización.....	15
19. Glosario mínimo.....	16
Referencias (APA, 7. ^a edición).....	16

La tabla es navegable (Ctrl+clic). Para actualizar los números en Word: seleccione todo el documento y presione F9.

Resultados de aprendizaje

Al terminar el caso, apoyado en este manual y en el archivo de Excel, el estudiante estará en capacidad de:

- Auditar la consistencia nominal y real de un modelo financiero (flujos, tasas y moneda en la misma base).
- Valorar alternativas de inversión mutuamente excluyentes con FCFF, VPN, TIR/MIRR, índice de rentabilidad y payback, reconociendo las patologías de cada métrica.
- Separar y calcular tres perspectivas de valor — privada, socioambiental e internalizada — con la tasa de descuento correcta para cada una.
- Identificar y eliminar dobles conteos entre externalidades, canales de internalización y flujos privados.
- Construir sensibilidades y puntos de equilibrio, y jerarquizar los supuestos según su capacidad de mover el nivel de valor o el ranking.
- Presentar ante un comité una recomendación ejecutiva defendible, con perspectiva explícita, riesgos priorizados y una condición de reversa.

1. Propósito del manual y regla de juego

Este manual explica los **conceptos, métodos y fuentes** que sustentan cada bloque del modelo ESG Challenge; no entrega los resultados. La tesis pedagógica es que la pregunta «¿qué filtro debería seleccionar ChallengeESG Corp?» no tiene respuesta única: depende de la **perspectiva de valor** (empresa, sociedad o valor internalizado), de las **restricciones** vigentes y de la **calidad de los supuestos**. Su tarea es producir las cifras, defender una recomendación y — más importante — poder explicar bajo qué condiciones cambiaría de opinión.

La monetización de externalidades es práctica corriente en la evaluación social de proyectos (Boardman et al., 2018) y en la política climática (High-Level Commission on Carbon Prices, 2017; World Bank, 2026), pero exige disciplina: distinguir bienestar de caja, no descontar flujos corporativos a tasas sociales, no monetizar dos veces la misma tonelada y declarar qué datos son observados y cuáles simulados. Cada capítulo cierra con la conexión al archivo y, donde corresponde, con un recuadro de error frecuente y preguntas de comprobación.

2. El problema de decisión: alternativas excluyentes bajo restricciones

La empresa debe reemplazar un sistema de filtrado prohibido (G0) por una de tres alternativas — G1, G2, G3 — que difieren en CAPEX, costos operativos, empleo (800/700/600 trabajadores) y desempeño ambiental (PM de 5,4/3,0/0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 60.000/150.000/245.000 tCO₂e evitadas por año, cifras del caso marcadas como simuladas). Las alternativas son **mutuamente excluyentes**: la regla correcta es maximizar VPN y no TIR, porque la TIR ordena mal proyectos de escala o perfil temporal distinto (Lorie & Savage, 1955; Brealey, Myers & Allen, 2020), aunque la práctica corporativa use ambas casi por igual (Graham & Harvey, 2001).

El comité impone además una **restricción dura**: EBITDA del año 1 no inferior a US\$20 millones (hoja 2, celda B100; verificada contra el archivo). Eso convierte el problema en optimización con conjunto factible: primero determine qué alternativas son admisibles (hoja 5, sección A) y solo después maximice valor entre ellas. La hoja calcula también las brechas de factibilidad — qué reducción de OPEX, qué ingreso adicional con el margen de contribución editable (B40; no del 100%) o qué subsidio se necesitaría. **Su primera tarea numérica es esa verificación.**

ERROR FRECUENTE — elegir la alternativa de mayor VPN ignorando la restricción, o «promediar» métricas. El orden es: factibilidad → valor entre factibles → sensibilidad de ambas.

3. Fundamentos de valoración: FCFF y sus métricas

El modelo proyecta el **flujo de caja libre para la firma** (Damodaran, 2012; Koller, Goedhart & Wessels, 2020):

con $\tau = 35\%$, la tarifa general del impuesto de renta corporativo colombiano (Estatuto Tributario, art. 240, según Ley 2277 de 2022). El modelo la usa como simplificación declarada: la ley contiene además reglas de tributación mínima y tratamientos sectoriales que un análisis fiscal real debe considerar. Si el EBIT es negativo, no debe reconocerse automáticamente un ahorro fiscal de caja: su aprovechamiento depende de la existencia de renta gravable y de las reglas de compensación de pérdidas. El capital de trabajo se modela como 10% del ingreso; su variación consume caja cuando el ingreso crece.

3.1 VPN

El VPN descuenta cada flujo al costo de oportunidad del capital; su justificación descansa en el valor del dinero en el tiempo (Fisher, 1930) y en la separación entre inversión y financiación (Modigliani & Miller, 1958). Es la única métrica habitual aditiva y consistente con maximizar riqueza.

3.2 TIR y MIRR, con precisión

En un flujo **convencional** — un solo cambio de signo — cabe esperar una única TIR económicamente relevante; ante flujos no convencionales la TIR puede ser múltiple, inexistente o ambigua (Lorie & Savage, 1955). El modelo cuenta los cambios de signo de cada flujo incremental y emite mensajes en lugar de códigos de error. La **MIRR** requiere declarar sus dos parámetros: la tasa de financiación de los flujos negativos y la tasa de reinversión de los positivos; el modelo usa el WACC del filtro para ambas, un supuesto que usted puede discutir. El índice de rentabilidad sirve bajo racionamiento de capital y el payback es solo una métrica de liquidez.

ERROR FRECUENTE — leer la TIR operativa de la hoja 3 como «rentabilidad del filtro». Es la rentabilidad de TODA la operación, que existe con o sin filtro; la rentabilidad de la decisión vive en el nivel incremental (hoja 5, sección B).

Compruebe su comprensión

1. ¿Por qué la TIR de la operación completa no responde la pregunta del comité?
2. Construya un flujo con dos cambios de signo y explique qué ocurre con su TIR.
3. ¿Qué supuesto de reinversión hace la MIRR del modelo y cómo lo cambiaría?

4. Consistencia nominal, real y monetaria

Todo flujo debe descontarse a una tasa en su misma base (Fisher, 1930). Los **flujos privados** son nominales y se descuentan al WACC nominal; los **flujos sociales** se expresan en términos reales y se descuentan a la tasa social real, deflactando el Δ OPEX antes de valorarlo. Si cambia la moneda a COP, la devaluación se deriva por paridad relativa de poder de compra y el WACC en pesos por paridad de tasas. Estas paridades son una simplificación pedagógica: en una valoración real deben modelarse la moneda de cada flujo, su exposición cambiaria y las primas de riesgo no capturadas por la conversión mecánica.

Sobre la inflación esperada. El 2,5% del caso es un supuesto de inflación **esperada** de largo plazo en USD. Un índice histórico como el CPI-U (Federal Reserve Bank of St. Louis, 2026a) mide inflación observada, no expectativas; para justificar una expectativa deben usarse instrumentos como los *breakeven* de inflación implícitos en bonos indexados — por ejemplo, la expectativa forward a 5 años dentro de 5 años (Federal Reserve Bank of St. Louis, 2026b) —, encuestas de expectativas o la meta de largo plazo del banco central. El modelo declara el 2,5% como parámetro pedagógico anclado en ese orden de magnitud.

5. Costo de capital: construcción reproducible y greenium

El WACC base del 10% nominal en USD es un **proxy pedagógico**. Un WACC de decisión real debe ser reproducible mediante una tabla de construcción con fecha de valoración, moneda y fuentes exactas:

Componente	Qué documentar	Fuente típica
Tasa libre de riesgo	Bono del Tesoro al plazo de los flujos, con fecha	Curva del Tesoro de EE. UU.
Prima de mercado (ERP)	Estimación y método (implícita o histórica)	Dataset anual de ERP implícita (Damodaran, 2026a)
Riesgo país (CRP)	Método (spread soberano o ERP ajustada)	Dataset de spreads y riesgo país (Damodaran, 2026c)
Beta desapalancada	Sector, muestra y fecha; reapalancar a estructura objetivo	Dataset de betas por sector (Damodaran, 2026b)
Estructura y Kd	Estructura objetivo D/E y costo de deuda marginal	Estados financieros y mercado de deuda

Los tres datasets se actualizan anualmente: en un trabajo real cite la edición exacta y la fecha de descarga (Damodaran, 2026a, 2026b, 2026c).

5.1 El greenium como escenario de estrés, no estimación central

La evidencia sobre bonos verdes encuentra una prima **pequeña**: en promedio unos –2 puntos básicos a favor del emisor (Zerbib, 2019), con rangos algo mayores en submercados (Baker, Bergstresser, Serafeim & Wurgler, 2018). El modelo usa 25–50 pb — entre 12,5 y 25 veces la estimación central de Zerbib —: léalo como *escenario de estrés favorable* diseñado para hacer visible el canal, no como estimación defendible. En un análisis real, el beneficio se limitaría al monto efectivamente financiado, al plazo del instrumento y al periodo de elegibilidad, neto de costos de estructuración, verificación y reporte. El fundamento de tratarlo como ajuste al descuento y no como flujo: bajo Modigliani y Miller (1958) la financiación no crea valor por sí misma; el greenium es una fricción de preferencias de inversionistas (Krueger, Sautner & Starks, 2020).

6. Tratamiento terminal: cierre, continuidad y reposición

6.1 Cierre

Las indemnizaciones dependen de los trabajadores que permanecen bajo cada alternativa, a precios del año 10. En un caso real el valor residual debería además presentarse **después de impuestos** sobre la venta del activo (incluida la recaptura fiscal de la depreciación) y de costos de transacción; el modelo lo simplifica y lo declara.

6.2 Continuidad: Gordon con disciplina de reinversión

La perpetuidad creciente proviene de Gordon y Shapiro (1956). Dos disciplinas la hacen defendible (Koller et al., 2020): coherencia entre crecimiento y reinversión, y la condición $WACC > g$. **Si $WACC \leq g$ el supuesto es inválido y el modelo no debe emitir recomendación:** la respuesta correcta es un error visible que bloquee el ranking, no un valor terminal de cero que produzca una valoración aparentemente válida pero falsa. Verifique cómo reacciona el archivo ante esa violación y critique su tratamiento.

6.3 Reposición por anualidad equivalente

El costo anual equivalente (Brealey et al., 2020) convierte el desembolso periódico en una anualidad financieramente idéntica que se resta del flujo normalizado. Al usarlo, declare: el momento de la primera reposición, si el CAPEX de reemplazo crece con inflación (en el modelo, sí: se indexa a precios del año 10), si el EAC está en términos nominales o reales, y su consistencia con la perpetuidad creciente.

Compruebe su comprensión

1. ¿Por qué un $TV = 0$ ante $WACC \leq g$ es más peligroso que un error visible?
2. Derive el EAC de un CAPEX de 100 con $r = 10\%$ y $n = 10$, y explique qué supuesto agregaría para hacerlo crecer con π .

7. Externalidades, precios sombra y transferencias

Una externalidad es un efecto sobre terceros no reflejado en precios. La tradición del modelo es pigouviana: valorar el daño o beneficio marginal y usarlo como precio sombra (Pigou, 1920); la perspectiva coasiana (Coase, 1960) ilumina los canales de internalización del capítulo 12. La agregación sigue los tres postulados del análisis de bienestar aplicado (Harberger, 1971). El VPN social del modelo se define formalmente como:

donde el costo social de recursos incluye el CAPEX, el valor presente del $\Delta OPEX$ real y los costos reales de certificación y verificación — porque auditar también consume recursos. **Regla de transferencias:** los impuestos, subsidios y multas **no** se tratan automáticamente como costos o beneficios sociales: primero se determina si son *transferencias entre agentes* — que redistribuyen sin consumir recursos y por eso no entran al VPN social — o si generan costos reales adicionales, distorsiones o costos de administración (incluido, en análisis avanzados, el costo marginal de los fondos públicos) (Boardman et al., 2018; Harberger, 1971). Por eso la multa del caso cuenta

en la valoración privada y no en la social, y por eso el impuesto al carbono es caja para el fisco y costo para la empresa, pero no un costo social de recursos.

8. Clima: cuatro precios que no deben confundirse

El beneficio climático anual es tCO_2e evitadas $\times$ precio del carbono. Pero «precio del carbono» significa cosas distintas, y confundirlas es el error conceptual más común en finanzas sostenibles:

Concepto	Qué representa	Ancla empírica
Costo social del carbono (SCC)	Daño marginal monetizado de una tonelada adicional, estimado con modelos de daño	US\$185/t (dólares de 2020, tasa $\approx 2\%$) con amplia incertidumbre (Rennert et al., 2022); el debate Stern-Nordhaus explica por qué la tasa de descuento domina el resultado (Stern, 2007; Nordhaus, 2007, 2017)
Precio sombra de carbono	Valor usado en evaluación para reflejar una meta climática, no un daño	Corredor de US\$40–80 (2020) y US\$50–100 (2030) compatible con París bajo políticas complementarias (High-Level Commission on Carbon Prices, 2017)
Precio regulado	Impuesto al carbono o precio de un sistema de comercio de emisiones	En Colombia: COP 29.070,49 por tCO_2e para 2026, vigente desde el 1 de febrero (DIAN, Resolución 000003 de 2026); su equivalencia en USD depende de la tasa de cambio y debe fecharse
Precio interno corporativo	Parámetro gerencial para decisiones internas de inversión	Encuestas de práctica corporativa; heterogéneo por industria

El modelo usa **US\$75 por tonelada como precio sombra de carbono compatible con una trayectoria de transición** — el centro del rango 2030 del corredor Stern-Stiglitz —, **no** como SCC basado en daños. **Trayectoria temporal:** el archivo lo aplica *constante en términos reales durante los diez años*, una simplificación declarada; el corredor de política, en cambio, es creciente entre 2020 y 2030. Buenas prácticas exigen correr al menos tres trayectorias y observar si el ranking social cambia:

Escenario	Tratamiento sugerido
Conservador	US\$50 real constante (piso del corredor 2030)
Central	US\$75 real inicial con crecimiento real parametrizable (para la perspectiva social, use una matriz tasa social $\times$ precio sombra y los encabezados editables)
Daños (SCC)	Nivel tipo Rennert et al. (2022) con sensibilidad simultánea de la tasa social (capítulo 10)

Empíricamente, los precios efectivos siguen lejos de ambos referentes: en 2026, algo más del 29% de las emisiones globales está cubierto por precios directos al carbono mediante 87 políticas implementadas, y el precio directo **promedio** se aproxima a US\$21/ tCO_2e , con elevada dispersión entre jurisdicciones e instrumentos (World

Bank, 2026). Esa brecha entre precio sombra y precio efectivo es, exactamente, la brecha entre las secciones A y B de la hoja 4. Las toneladas del caso están marcadas como simuladas: un inventario real exige el estándar del GHG Protocol (WRI & WBCSD, 2004) con aseguramiento externo (capítulo 13).

Nota de verificación normativa: la tarifa de la DIAN para 2026 y las cifras del Banco Mundial (2026) provienen del insumo docente del curso; antes de usar este material fuera del aula, verifíquelas contra la resolución y la publicación originales.

ERROR FRECUENTE — sumar el «VPN social» al VPN privado, o valorar el canal de impuesto al precio sombra de 75. El precio sombra valora bienestar en la sección 4A; el flujo corporativo del impuesto usa el precio regulado esperado en la 4B.

9. Salud: la cadena epidemiológica y un dato deliberadamente simulado

$\Delta PM_{2.5} \rightarrow$ población expuesta $\rightarrow$ función concentración-respuesta $\rightarrow$ casos evitados
 $\rightarrow$ VSL + morbilidad

La epidemiología ambiental estableció con solidez la relación entre exposición prolongada a PM_{2.5} y mortalidad cardiopulmonar y por cáncer de pulmón: la cohorte de la American Cancer Society estimó incrementos de riesgo de aproximadamente 4%, 6% y 8% por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicionales (Pope et al., 2002), evidencia que sustenta las guías de la OMS, con nivel recomendado de PM_{2.5} de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual (World Health Organization, 2021).

La monetización usa el **valor de una vida estadística** — disposición agregada a pagar por reducciones marginales de riesgo, no el «precio de una vida» —. Los valores de referencia de US\$7-12 millones corresponden a Estados Unidos y **deben declararse con su año monetario** (las revisiones clásicas reportan en dólares de comienzos de los 2000: Viscusi & Aldy, 2003; la EPA los actualiza al año del análisis con inflación e ingreso: U.S. EPA, 2010). Para transferirlos a otro país se usa la elasticidad ingreso del VSL:

con ϵ cercana a 1 en estimaciones globales, y mayor que 1 en transferencias hacia países de menor ingreso (Viscusi & Masterman, 2017). El modelo **no** ejecuta esa cadena: usa un valor agregado de US\$3 millones por $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{año}$ marcado como *ilustrativo, no apto para decisión real sin estudio epidemiológico local*. Como ese supuesto puede alterar el ranking social, su tratamiento correcto es: (a) reconstruir la cadena con los eslabones del caso — 250.000 personas expuestas — y funciones de la literatura, declarando año monetario, país de referencia y ϵ ; y (b) medir en la hoja 6 cuánto tendría que valer para cambiar su recomendación. Esa es la Actividad 8.

10. La tasa social de descuento

Los flujos sociales se descuentan al 3% real según la regla de Ramsey (1928), donde ρ es en parte una elección ética: Stern (2007) usó $\rho \approx 0,1\%$ por imparcialidad intergeneracional; Nordhaus (2007) defendió parámetros de mercado. Dos resultados empíricos orientan la práctica: bajo incertidumbre, la tasa efectiva de largo plazo debe declinar hacia su valor más bajo posible (Weitzman, 2001; Arrow et al., 2013), y la encuesta a más de 200 expertos encontró una mediana del 2% real con rango central de 1-3% (Drupp, Freeman, Groom & Nesje, 2018). El 3% del modelo es defendible y conservador respecto de beneficios ambientales futuros, porque reduce su valor presente; no necesariamente lo es para todos los costos o perspectivas. Regla operativa: la tasa social descuenta **bienestar**; jamás un flujo de caja corporativo.

11. Trabajo: salario sombra y transición

Para la empresa, automatizar ahorra el salario completo. Para la sociedad, el costo de oportunidad del trabajo es el salario sombra — la producción del trabajo en su mejor uso alternativo —, inferior al salario de mercado con desempleo o informalidad (Little & Mirrlees, 1974; Squire & van der Tak, 1975; Boardman et al., 2018). El modelo evita un doble conteo sutil: como el Δ OPEX social ya incorpora el ahorro laboral al salario completo, agrega un ajuste de costo igual a desplazados $\times$ salario $\times$ (1 – factor sombra), de modo que el beneficio social neto quede exactamente en el salario sombra. A ello suma la transición: meses esperados de desempleo valorados a salario sombra más capacitación, con la recolocación reflejada en la duración. Temporalmente, el beneficio de liberar trabajo debe reconocerse conforme ocurre la recolocación; durante el desempleo no existe producción alternativa y la capacitación consume recursos reales. Pregunta distributiva inevitable: aunque el promedio social resulte positivo, ¿quién gana y quién pierde? (Harberger, 1971).

12. Internalización por canales, después de impuestos

El VPN social no es dinero de la empresa. La pregunta gerencial es qué fracción puede **convertirse en caja**, por qué mecanismo, con qué probabilidad y con qué tratamiento fiscal. Formalmente:

donde **solo** se agregan canales que cumplan seis condiciones: no estar ya incluidos en ingresos u OPEX (el premium reputacional, por ejemplo, ya vive en el VPN privado); ser atribuibles a la alternativa; ser incrementales frente al contrafactual; estar netos de costos de implementación (MRV, certificación); estar ajustados por su

probabilidad de materialización; y ser fiscalmente consistentes. Cuando el evento sea binario o dependa de la fecha de entrada, el valor esperado debe construirse por escenarios — regulado y no regulado — modelando fecha, tarifa, cobertura y duración; una probabilidad única es una simplificación pedagógica. Los canales se descuentan al WACC del filtro — nunca a la tasa social.

12.1 Impuesto al carbono evitado

Colombia creó el impuesto nacional al carbono con la Ley 1819 de 2016 (arts. 221 y ss.) y lo modificó con la Ley 2277 de 2022. La tarifa legal de referencia para 2026 es COP 29.070,49 por tCO₂e, vigente desde el 1 de febrero de 2026 (DIAN, Resolución 000003 de 2026); su equivalencia en dólares depende de la tasa de cambio utilizada y debe fecharse — a una TRM ilustrativa de COP 4.000, equivale aproximadamente a US\$7,27 por tCO₂e. El canal solo puede aplicarse a emisiones comprendidas en la base legal del instrumento regulatorio, no automáticamente a la totalidad de los alcances 1, 2 y 3. El modelo representa una extensión esperada al sector con un precio regulado mayor (B62) y una probabilidad; su trabajo es juzgar la fecha de entrada, la tarifa, la cobertura y la duración mediante escenarios.

12.2 Créditos de carbono: la asignación es necesaria, no suficiente

El canal exige primero **no monetizar dos veces la misma tonelada**: la regla de acumulabilidad (B114) asigna toneladas entre cumplimiento tributario, créditos y no monetizadas, con identidad contable verificable. Pero la asignación no demuestra que las toneladas restantes sean vendibles: la integridad de un crédito exige además **adicionalidad** (una reducción requerida legalmente enfrenta un problema serio de adicionalidad), línea base y elegibilidad metodológica, permanencia, control de fugas, titularidad clara, verificación ex post y ausencia de doble emisión, doble reclamación y doble uso (Integrity Council for the Voluntary Carbon Market, 2023). Neto de MRV, el margen puede ser pequeño o nulo.

12.3 Fiscalidad por canal: condicionada, no automática

El modelo aplica un neteo fiscal **condicionado a supuestos declarados**: evitar un costo pierde el escudo fiscal *si ese costo es fiscalmente deducible*, y un ingreso por créditos se netea *si está sujeto al tratamiento tributario supuesto*. No todos los costos regulatorios, multas, compensaciones o certificados reciben el mismo tratamiento; la tabla siguiente resume los supuestos del caso, que un análisis real debe validar con concepto tributario:

Canal	Naturaleza	Supuesto del caso	Tarifa	Base legal a validar
Impuesto al carbono evitado	Costo evitado	Deducible $\rightarrow$ $\text{neto} = \text{bruto} \times (1 - \tau)$	35%	E.T. art. 240; régimen del impuesto (L. 1819/2016; L. 2277/2022)
Créditos de carbono	Ingreso	Gravable $\rightarrow$ $\text{neto} = \text{bruto} \times (1 - \tau)$, neto de MRV	35%	Tratamiento de ingresos por certificados; concepto tributario
Cargo sanitario evitado	Costo evitado	Incierto: escenario base $(1 - \tau)$ con alerta y sensibilidad	35%	Naturaleza del cargo (tasa retributiva vs sanción no deducible)
Subsidios	Transferencia	No modelado en el caso base; si se activa, definir gravamen	—	Régimen del incentivo específico
Premium reputacional	Ingreso	Ya neto de τ dentro del VPN privado — no se duplica	35%	—

12.4 Financiación sostenible: elegibilidad no automática

El modelo asume que G2 y G3 «califican» a instrumentos verdes como supuesto pedagógico. En la realidad, la elegibilidad debe demostrarse actividad por actividad contra la Taxonomía Verde de Colombia (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2022) — criterio técnico, contribución sustancial, no causar daño significativo y salvaguardas mínimas — con evidencia documental. Critique ese supuesto en su memo.

Compruebe su comprensión

1. ¿Por qué el canal del impuesto usa el precio regulado esperado y no el precio sombra?
2. Bajo la regla «créditos solo sobre toneladas no usadas para cumplimiento», ¿qué pasa con el canal si el 100% se destina a cumplimiento?
3. Nombre dos canales cuya inclusión violaría la condición de «no incluido previamente».

13. Gobernanza y divulgación: la G que sostiene a la E y la S

Un análisis ESG sin gobernanza es incompleto: las cifras ambientales y sociales valen lo que valgan los **controles** que las producen. Para este caso, la gobernanza mínima incluye: supervisión del directorio sobre la decisión y sus riesgos climáticos; responsabilidades y conflictos de interés del comité de inversión; gobernanza de los datos ESG — controles internos sobre el inventario de emisiones, trazabilidad de fuentes y **aseguramiento externo** antes de monetizar o reportar —; prevención de *greenwashing*; y mecanismos de quejas y participación para la comunidad expuesta y los trabajadores desplazados.

Dentro del marco internacional del ISSB, **IFRS S1** establece los requerimientos generales de revelación sobre riesgos y oportunidades de sostenibilidad que razonablemente puedan afectar los flujos de caja, el acceso a financiación o el costo de capital, e **IFRS S2** hace lo propio para el clima — gobernanza, estrategia, gestión de riesgos y métricas —, ambos efectivos para periodos iniciados el 1 de enero de 2024 (International Sustainability Standards Board, 2023a, 2023b). **Su obligatoriedad concreta depende de la adopción regulatoria de cada jurisdicción y del tipo de entidad informante:** en Colombia, la Superintendencia Financiera mantiene reglas propias de revelación y gestión de riesgos ASG y un proceso de convergencia hacia esos estándares (Superintendencia Financiera de Colombia, s. f.). Para riesgos relacionados con la naturaleza más allá del clima, el marco del TNFD ofrece la misma arquitectura de cuatro pilares (Taskforce on Nature-related Financial Disclosures, 2023).

13.1 Doble materialidad ESG vs criticidad de supuestos del modelo

En sostenibilidad, **doble materialidad** tiene significado técnico preciso, codificado en los ESRS europeos: combina la **materialidad de impacto** — efectos de la empresa sobre personas y ambiente — con la **materialidad financiera** — riesgos y oportunidades de sostenibilidad que afectan a la empresa (Comisión Europea, 2023). En el caso: el impacto de las emisiones y el PM sobre la comunidad es materialidad de impacto; la exposición a un impuesto al carbono o a un endurecimiento sanitario es materialidad financiera.

La herramienta de la hoja 6 del archivo es otra cosa: una **criticidad de supuestos** — análisis bidimensional que ordena los supuestos por su efecto en el nivel del VPN y por su capacidad de cambiar el ranking. Es análisis de sensibilidad estructurado (Boardman et al., 2018), no doble materialidad ESG. El memo final le pedirá identificar **ambas**.

14. LCOA y la curva marginal de abatimiento

El costo nivelado de abatimiento responde cuánto cuesta, en valor presente, evitar una tonelada frente a un mismo contrafactual. El numerador y el denominador deben ser incrementales respecto del baseline. El modelo lo calcula en versión corporativa (flujos nominales al WACC del filtro) y social (flujos reales, incluida certificación, a la tasa social). Comparar el LCOA social con el precio sombra replica la lógica de las curvas de costo marginal de abatimiento (McKinsey & Company, 2009), con las advertencias de la crítica académica: costos estáticos, sin interacciones ni incertidumbre (Gillingham & Stock, 2018). Como G1, G2 y G3 son alternativas mutuamente excluyentes, la representación tipo MACC es comparativa y no debe

acumularse como si fueran medidas independientes. Además, comparar LCOA con un precio de carbono no sustituye el VPN social completo cuando existen beneficios de salud, empleo u otras externalidades. La pregunta del caso: ¿puede una alternativa ser socialmente eficiente en abatimiento y aun así financieramente inviable? ¿Qué papel juegan entonces los canales de internalización?

15. La decisión: proceso, no número

La hoja 5 integra la decisión en el orden correcto, y su trabajo es recorrerlo, no leerlo: (1) la tabla de restricciones determina el conjunto factible y contempla el caso «ninguna alternativa factible»; (2) el análisis incremental compara pares G2–G1, G3–G1 y G3–G2 con flujos donde lo común se cancela — verifique qué se cancela y por qué el costo regulatorio evitado es idéntico entre alternativas que cumplen; (3) el contrafactual de cierre inmediato se compara contra invertir, **sin** sumar la multa en ninguno de los dos lados; (4) la narrativa dinámica ensambla ganadora factible, ganadora sin restricciones, challenger, punto de equilibrio del driver relevante y restricción dominante — y advierte que cruzar un punto de equilibrio de valor no restablece la factibilidad. Su entregable es el memo de una página de la Actividad 9: decisión, perspectiva, tres razones, dos riesgos y una condición de reversa.

ERROR FRECUENTE — sumar la multa evitada al comparar «invertir vs cerrar». Ambas ramas eliminan la exposición regulatoria: sumarla a una sola es doble conteo; sumarla a las dos es irrelevante.

16. Criticidad de supuestos, sensibilidades y puntos de equilibrio

Un resultado sin robustez no es una recomendación. El archivo ofrece tres instrumentos: **matrices de sensibilidad** que cruzan pares de supuestos alrededor de los puntos de decisión, incluidas zonas donde ninguna alternativa es factible, la matriz fiscal, la de acumulabilidad y la de salario sombra × desempleo; **puntos de equilibrio** que invierten la pregunta — qué valor del driver iguala a la ganadora con su challenger, por perspectiva —; y la **criticidad de supuestos** bidimensional del capítulo 13.1. Aplique la tasa coherente con cada perspectiva: tasa social × precio sombra para el VPN social; WACC × drivers corporativos para los VPN privado e internalizado. Úselos para jerarquizar el esfuerzo de verificación: la acción de mayor valor informativo antes de decidir es validar el supuesto que domina ambos rankings — descúbralo usted (Boardman et al., 2018; Dixit & Pindyck, 1994).

17. Recorrido hoja por hoja y mapa del archivo

Referencias de celdas verificadas contra el archivo el 13 de julio de 2026.

Hoja	Sección	Dónde mirar	Qué debe producir usted
1. Caso y ruta	Narrativa y 7 etapas	Panel de navegación; indicador de integridad	Selección preliminar cualitativa y las 3 preguntas iniciales sin cálculos
2. Inputs	8 módulos + avanzados	Selectores B7:B11; restricción B100; margen B40; precios de carbono B61 (sombra) y B62 (regulado); parámetros fiscales y de acumulabilidad B114:B123	Lectura crítica de cada supuesto: unidad, tipo, confianza y fuente; identificar los simulados
3. Modelo financiero	P&L→FCFF→métricas (bloques G1/G2/G3)	Métricas al pie de cada bloque; celda de factibilidad; fila terminal con los tres modos	Verificación de la restricción de EBITDA y lectura correcta de TIR operativa vs incremental
4. Impactos e internalización	A: flujos sociales reales al 3% · B: canales netos al WACC	A: filas de clima, salud, ajuste sombra y transición; LCOA social. B: tabla fiscal por canal, regla de acumulabilidad e identidad de toneladas	VPN social neto y VPN internalizado por alternativa, explicando cada tasa
Hoja	Sección	Dónde mirar	Qué debe producir usted
5. Decisión e incremental	A: restricciones y narrativa · B: incrementales y cierre	Tabla de restricciones y brechas; selector de perspectiva B27; flujos Δ FCF y métricas incrementales; contrafactual de cierre	Conjunto factible, ganadoras por perspectiva y decisión del upgrade
6. Sensibilidades	Matrices, equilibrios y criticidad	Encabezados azules editables; tabla de puntos de equilibrio por perspectiva; ranking dual de supuestos	Puntos de equilibrio relevantes y jerarquía de validación de supuestos
7. Dashboard	Síntesis en 6 bloques	Gráficos con comentarios de lectura; bloque de riesgos	Lectura ejecutiva coherente con sus cifras
8. Actividades y evaluación	10 actividades, rúbrica, fuentes	Rúbrica de 100 puntos; matriz de fuentes con estado de validación	Memo final y crítica de fuentes (Actividades 8 y 9)

18. Limitaciones declaradas y ética de la monetización

El modelo enseña también por lo que no hace. Sus limitaciones están a la vista: valor sanitario y población expuesta simulados sin función concentración-respuesta local; inventario de emisiones sin verificación GHG Protocol ni aseguramiento; escenario regulatorio sin concepto jurídico; elegibilidad taxonómica asumida, no demostrada; precio sombra constante sin trayectoria; análisis social parcial (excluye agua, residuos, biodiversidad, encadenamientos y distribución); elasticidades lineales en la criticidad de supuestos; ausencia de opciones reales explícitas (Dixit & Pindyck, 1994). Monetizar salud y clima incomoda con razón: el VSL no es el precio de una vida sino disposición a pagar por riesgos pequeños (Viscusi & Aldy, 2003), y el análisis costo-beneficio estándar promedia efectos distributivos que importan (Harberger, 1971). La postura del manual: monetizar con transparencia total es preferible a decidir con externalidades invisibles — pero la cifra nunca sustituye la deliberación del comité, del regulador y de la comunidad.

19. Glosario mínimo

Término	Definición	Término	Definición
FCFF	Flujo de caja libre para la firma	LCOA / MACC	Costo nivelado de abatimiento; curva de costo marginal
WACC / Ke / Kd	Costo de capital promedio; del patrimonio; de la deuda	EAC	Anualidad equivalente de un CAPEX periódico
VPN / TIR / MIRR / PI	Valor presente neto; TIR; TIR modificada; índice de rentabilidad	Greenium	Diferencial de rendimiento en deuda sostenible; empíricamente pequeño
SCC	Costo social del carbono: daño marginal monetizado	MRV	Monitoreo, reporte y verificación
Precio sombra de carbono	Valor de evaluación consistente con una meta climática	Adicionalidad / permanencia / fugas	Criterios de integridad de créditos (ICVCM)
VSL	Valor de una vida estadística (disposición a pagar por riesgo)	Doble materialidad	Materialidad de impacto + financiera (ESRS)
Salario sombra	Costo de oportunidad social del trabajo	Criticidad de supuestos	Ranking bidimensional: nivel y ranking
Transferencia	Redistribución sin consumo de recursos (no entra al VPN social)	DNSH	No causar daño significativo (taxonomías)

19.1 Formas lineales de las ecuaciones (accesibilidad y búsqueda)

- $FCFF = NOPAT + Dep - CAPEX - \Delta NWC \pm \text{Ajuste terminal}; NOPAT = EBIT \times (1 - \tau)$
- $(1+i) = (1+r) \times (1+\pi)$
- $Ke = Rf + \beta L \times ERP + CRP; WACC = Ke \times E / (D+E) + Kd \times (1-\tau) \times D / (D+E)$
- $TV_T = FCFF_{\text{norm}}(T+1) / (WACC - g); FCFF_{\text{norm}} = NOPAT + Dep - CAPEX_{\text{mant}} - \Delta NWC$
- $EAC = CAPEX_{\text{rep}} \times r(1+r)^n / ((1+r)^n - 1)$
- $r_{\text{social}} = \rho + \eta \times g$
- $VPN_{\text{social}} = VP(\text{beneficios sociales}) - VP(\text{costos reales de recursos})$
- $VPN_{\text{internalizado}} = VPN_{\text{privado}} + VP(\text{canales corporativos adicionales})$
- $LCOA = (\Delta CAPEX + VP(\Delta OPEX)) / VP(\Delta tCO_2e \text{ evitadas})$
- $VSL_{\text{Colombia}} = VSL_{\text{ref}} \times (Y_{\text{Colombia}} / Y_{\text{ref}})^{\epsilon}$

Referencias

Arrow, K. J., Cropper, M. L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G. M., Newell, R. G., Nordhaus, W. D., Pindyck, R. S., Pizer, W. A., Portney, P. R., Sterner, T., Tol, R. S. J., &

- Weitzman, M. L. (2013). Determining benefits and costs for future generations. *Science*, 341(6144), 349-350. <https://doi.org/10.1126/science.1235665>
- Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., & Wurgler, J. (2018). *Financing the response to climate change: The pricing and ownership of U.S. green bonds* (NBER Working Paper No. 25194). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w25194>
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost-benefit analysis: Concepts and practice* (5.^a ed.). Cambridge University Press.
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *The Journal of Law and Economics*, 3, 1-44. <https://doi.org/10.1086/466560>
- Comisión Europea. (2023). *Reglamento Delegado (UE) 2023/2772 de la Comisión, por el que se completa la Directiva 2013/34/UE en lo que respecta a las normas de presentación de información sobre sostenibilidad (ESRS)*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 2023/2772.
- Congreso de la República de Colombia. (2016). *Ley 1819 de 2016, reforma tributaria estructural* (arts. 221-223, impuesto nacional al carbono). Diario Oficial No. 50.101.
- Congreso de la República de Colombia. (2022). *Ley 2277 de 2022, reforma tributaria para la igualdad y la justicia social*. Diario Oficial No. 52.247.
- Damodaran, A. (2012). *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Damodaran, A. (2026a). *Implied equity risk premiums* [dataset anual]. NYU Stern. <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/> (consultado en julio de 2026).
- Damodaran, A. (2026b). *Levered and unlevered betas by industry* [dataset anual]. NYU Stern. <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/> (consultado en julio de 2026).
- Damodaran, A. (2026c). *Country default spreads and risk premiums* [dataset anual]. NYU Stern. <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/> (consultado en julio de 2026).
- Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales. (2026). *Resolución 000003 de 2026* [Por la cual se ajusta la tarifa del impuesto nacional al carbono para el año 2026: COP 29.070,49 por tCO₂e, vigente desde el 1 de febrero de 2026]. DIAN. <https://normograma.dian.gov.co>
- Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press.
- Drupp, M. A., Freeman, M. C., Groom, B., & Nesje, F. (2018). Discounting disentangled. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(4), 109-134. <https://doi.org/10.1257/pol.20160240>
- Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. *Management Science*, 60(11), 2835-2857. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984>

- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2026a). *Consumer Price Index for All Urban Consumers: All Items in U.S. City Average (CPIAUCSL)* [serie de datos]. FRED. <https://fred.stlouisfed.org/series/CPIAUCSL> (consultado en julio de 2026).
- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2026b). *5-Year, 5-Year Forward Inflation Expectation Rate (T5YIFR)* [serie de datos]. FRED. <https://fred.stlouisfed.org/series/T5YIFR> (consultado en julio de 2026).
- Fisher, I. (1930). *The theory of interest*. Macmillan.
- Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015). ESG and financial performance: Aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 5(4), 210-233. <https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917>
- Gillingham, K., & Stock, J. H. (2018). The cost of reducing greenhouse gas emissions. *Journal of Economic Perspectives*, 32(4), 53-72. <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.53>
- Gordon, M. J., & Shapiro, E. (1956). Capital equipment analysis: The required rate of profit. *Management Science*, 3(1), 102-110. <https://doi.org/10.1287/mnsc.3.1.102>
- Graham, J. R., & Harvey, C. R. (2001). The theory and practice of corporate finance: Evidence from the field. *Journal of Financial Economics*, 60(2-3), 187-243. [https://doi.org/10.1016/S0304-405X\(01\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0304-405X(01)00044-7)
- Harberger, A. C. (1971). Three basic postulates for applied welfare economics: An interpretive essay. *Journal of Economic Literature*, 9(3), 785-797.
- High-Level Commission on Carbon Prices. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices* (N. Stern & J. E. Stiglitz, pres.). World Bank.
- Integrity Council for the Voluntary Carbon Market. (2023). *Core Carbon Principles, assessment framework and assessment procedure*. ICVCM. <https://icvcm.org/core-carbon-principles/>
- International Sustainability Standards Board. (2023a). *IFRS S1: General requirements for disclosure of sustainability-related financial information*. IFRS Foundation.
- International Sustainability Standards Board. (2023b). *IFRS S2: Climate-related disclosures*. IFRS Foundation.
- Koller, T., Goedhart, M., & Wessels, D. (2020). *Valuation: Measuring and managing the value of companies* (7.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Krueger, P., Sautner, Z., & Starks, L. T. (2020). The importance of climate risks for institutional investors. *The Review of Financial Studies*, 33(3), 1067-1111. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz137>
- Little, I. M. D., & Mirrlees, J. A. (1974). *Project appraisal and planning for developing countries*. Heinemann Educational Books.
- Lorie, J. H., & Savage, L. J. (1955). Three problems in rationing capital. *The Journal of Business*, 28(4), 229-239. <https://doi.org/10.1086/294081>
- McKinsey & Company. (2009). *Pathways to a low-carbon economy: Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve*. McKinsey & Company.

- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2022). *Taxonomía Verde de Colombia*. Gobierno de Colombia.
- Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review*, 48(3), 261–297.
- Nordhaus, W. D. (2007). A review of the Stern Review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, 45(3), 686–702. <https://doi.org/10.1257/jel.45.3.686>
- Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. Macmillan.
- Pope, C. A., III, Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287(9), 1132–1141. <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
- Ramsey, F. P. (1928). A mathematical theory of saving. *The Economic Journal*, 38(152), 543–559. <https://doi.org/10.2307/2224098>
- Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., ... Anthoff, D. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. *Nature*, 610(7933), 687–692. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9>
- Squire, L., & van der Tak, H. G. (1975). *Economic analysis of projects*. Johns Hopkins University Press (para el Banco Mundial).
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Superintendencia Financiera de Colombia. (s. f.). *Finanzas sostenibles: documentos técnicos y normativa*. <https://www.superfinanciera.gov.co> (consultado en julio de 2026).
- Taskforce on Nature-related Financial Disclosures. (2023). *Recommendations of the Taskforce on Nature-related Financial Disclosures*. TNFD. <https://tnfd.global/recommendations/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2010). *Guidelines for preparing economic analyses* (EPA 240-R-10-001). Office of the Administrator.
- Viscusi, W. K., & Aldy, J. E. (2003). The value of a statistical life: A critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty*, 27(1), 5–76. <https://doi.org/10.1023/A:1025598106257>
- Viscusi, W. K., & Masterman, C. J. (2017). Income elasticities and global values of a statistical life. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 8(2), 226–250. <https://doi.org/10.1017/bca.2017.12>
- Weitzman, M. L. (2001). Gamma discounting. *The American Economic Review*, 91(1), 260–271. <https://doi.org/10.1257/aer.91.1.260>

- World Bank. (2026). *State and trends of carbon pricing 2026*. World Bank.
<https://www.worldbank.org/en/publication/state-and-trends-of-carbon-pricing>
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A corporate accounting and reporting standard* (ed. revisada). WRI/WBCSD.
- Zerbib, O. D. (2019). The effect of pro-environmental preferences on bond prices: Evidence from green bonds. *Journal of Banking & Finance*, 98, 39-60.
<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2018.10.012>

Nota de rigor bibliográfico. Todas las cifras del caso ChallengeESG Corp son pedagógicas o simuladas y así están clasificadas en la hoja 8 del archivo; las referencias sustentan **métodos y rangos**, no los datos del caso. Los datos normativos y de mercado fechados en 2026 (tarifa DIAN, cifras del Banco Mundial y ediciones de datasets) fueron tomados del insumo docente y deben verificarse contra la fuente primaria antes de distribuir. Fecha de revisión de fuentes: julio de 2026.