

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

**INVERSIÓN CON PROPÓSITO:
EL RIESGO COMO ACTIVO ESTRATÉGICO
EN ENTORNOS DE INCERTIDUMBRE PARA
PROYECTOS DE BIORREFINERÍAS**

PURPOSE-DRIVEN INVESTMENT:
RISK AS A STRATEGIC ASSET IN UNCERTAIN
ENVIRONMENTS FOR BIOREFINERY PROJECTS

Marco Antonio Velázquez Bernal
Universidad Marista de Querétaro México

Luis Alberto Cepeda Villasana
Universidad Marista de Querétaro México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21520

Inversión con Propósito: El Riesgo como Activo Estratégico en Entornos de Incertidumbre para Proyectos de Biorrefinerías

Marco Antonio Velázquez Bernal¹
marco_antonio_velazquez@yahoo.com.mx
<https://orcid.org/0009-0007-9339-4086>
Universidad Marista de Querétaro
México

Luis Alberto Cepeda Villasana
lacv97@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9946-0503>
Universidad Marista de Querétaro
México

RESUMEN

La gestión moderna del riesgo en proyectos complejos trasciende el enfoque tradicional de amenaza y probabilidad para concebirlo como un activo estratégico que orienta decisiones y genera valor sostenible. Este artículo propone un marco integrado en tres dimensiones para su formulación y evaluación: el riesgo como eje estratégico, el juicio experto como complemento a la modelación de escenarios y las herramientas cuantitativas avanzadas. La evaluación financiera basada en riesgos debe explorar combinaciones del riesgo de las variables críticas, las cuales se fundamentan en la correlación entre factores, la probabilidad de ocurrencia, la robustez estadística y la probabilidad de eventos externos, todos ellos elementos clave para construir modelos confiables de cada escenario que integren tanto lo cualitativo como lo cuantitativo garantizando la sostenibilidad de los proyectos en el largo plazo.

Palabras clave: riesgo, incertidumbre, estratégico, biorefinería, proyecto, complejo

¹ Autor principal
Correspondencia: marco_antonio_velazquez@yahoo.com.mx



Purpose-Driven Investment: Risk as a Strategic Asset in Uncertain Environments for Biorefinery Projects

ABSTRACT

Modern risk management in complex projects transcends the traditional threat-and-probability approach, reconceptualizing risk as a strategic asset that guides decision-making and fosters sustainable value creation. This article proposes an integrated three-dimensional framework for the formulation and evaluation of risk: positioning risk as a strategic axis, incorporating expert judgment as a complement to model of scenarios and advanced quantitative tools. Risk-based financial assessment should explore combinations of critical variable risks, supported by factor correlations, probability of occurrence, statistical robustness, and likelihood of external events. These elements are essential for constructing reliable scenario models that integrate both qualitative and quantitative dimensions, thereby ensuring the long-term sustainability of projects.

Keywords: risk, uncertainty, strategic, biorefinery, project, complex

Artículo recibido 20 octubre 2025

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



INTRODUCCIÓN

Generalmente, la percepción del concepto de riesgo presenta una connotación negativa, particularmente en lo referente a pérdidas de carácter patrimonial y financiero. En el desarrollo de proyectos de inversión y/o de infraestructura complejos el riesgo suele tratarse como una amenaza que debe identificarse y mitigarse, además, la formulación y evaluación financiera se realiza muchas veces bajo criterios deterministas obteniendo un indicador financiero fijo como si el entorno de los riesgos se mantuviera inamovible a lo largo de la vida del proyecto.

Asumir esta visión es incompleta ya que el riesgo no desaparece por ser diagnosticado, ni deja de afectar por ser clasificado, nuevos riesgos pueden surgir como resultados de las interacciones de los riesgos emergentes, lo verdaderamente útil es convertirlo en un eje estratégico, no para evitarlo, sino para entender su impacto en las decisiones que realmente importan, el enfoque pasa de simplemente minimizar el riesgo, a tomar riesgos calculados que estén alineados con una visión de impacto en el largo plazo.

La inversión con propósito implica asumir riesgos estratégicos alineados con objetivos mayores, como impulsar la innovación, facilitar la transición energética y generar valor sostenible y social en el tiempo. Esta visión no debe entenderse como un gasto, sino como una apuesta estratégica que posiciona a la empresa como aliada del territorio, al hacerlo, se activa una cadena de valor tangible: se fomenta el empleo, se fortalece el tejido social, se dinamiza la economía local y se construyen relaciones de confianza (Castríñón, 2024).

Al considerar el riesgo como una fuente de información estratégica, este se convierte en una elemento que orienta decisiones clave: desde el diseño del proyecto y la elección de socios, hasta la estructura financiera y el momento adecuado para ingresar al mercado, de este modo, no se trata únicamente de protegerse ante lo que podría fallar, sino de aprovechar la incertidumbre como un criterio para generar opciones sólidas y flexibles que refuercen la viabilidad del proyecto frente a futuros imprevistos (Rivas, Montoya, Villanueva, Núñez, & Jaraba, 2020). En un entorno cada vez más dinámico y complejo, la evaluación de riesgos ha evolucionado hacia enfoques híbridos que combinan análisis de datos con inteligencia artificial y es necesario incorporar también la incertidumbre epistemológica, es decir, el grado de conocimiento y confianza sobre lo que se sabe.



En este contexto, el juicio experto se vuelve esencial: permite plantear escenarios futuros, anticipar riesgos emergentes y preparar respuestas más flexibles. Aunque no siempre cuantificable, el conocimiento humano puede integrarse formalmente en modelos de evaluación, especialmente cuando los datos son escasos pero el saber experto es abundante, esta colaboración entre tecnología avanzada y experiencia humana permite diseñar estrategias más adaptativas, mejorar la toma de decisiones y contrarrestar limitaciones como el sesgo algorítmico o la opacidad de los sistemas (Beckley, 2025).

Por ello, la evaluación debe centrarse en dos enfoques complementarios de forma simultánea, el primero es un enfoque cualitativo, orientado a la definición de escenarios construidos a partir de la experiencia y las particularidades propias del proyecto, siempre desde una perspectiva estratégica.

El segundo es un enfoque cuantitativo, reportando los resultados de estos escenarios mediante indicadores, no como valores fijos, sino como rangos acotados que reflejan su volatilidad y distribución probabilística.

Formular escenarios basados en riesgos antes que en proyecciones obliga a considerar consecuencias más realistas y relevantes por lo que la evaluación se vuelve más robusta al ofrecer resultados probabilísticos sobre los indicadores financieros, logrando una alineación temprana entre los riesgos estratégicos y los objetivos del proyecto, integrándolos al modelo financiero desde el inicio, la flexibilidad de los escenarios planteados debe considerar tanto aspectos financieros como los operativos.

Una evaluación financiera bien fundamentada de proyectos debe considerar al riesgo como un activo estratégico, no como un obstáculo limitante, sino como un elemento que guía las decisiones y facilita la exploración de nuevos escenarios.

MARCO TEÓRICO

El término riesgo es un concepto complejo de definir, cuya evolución conceptual a través de la historia, lo ha enfrentado a las más diversas interpretaciones de las corrientes del pensamiento, la definición de riesgo toma cierto sesgo, dependiendo del sector inclinándose en dos enfoques: el enfoque Dominante (Tecnocrático), con una larga tradición de dominancia en el sector financiero y el enfoque de la Corriente Alternativa (Ciencias Sociales) (Chávez, 2018).



El estándar Internacional ISO 73:2009, publica las guías para la Gestión del Riesgo a partir de un esfuerzo internacional con la finalidad de estandarizar la práctica a un nivel global y ha resumido la conceptualización histórica del riesgo: “El riesgo es el efecto de incertidumbre sobre los objetivos”. A esta definición se suman algunas notas que le confieren un carácter más preciso e inclusivo:

- Un efecto es un desvío respecto a lo previsto, ya sea en sentido positivo y/o negativo.
- Los objetivos pueden tener diferentes aspectos (financieros, seguridad, salud, y ambientales) y pueden aplicarse en diferentes niveles (estratégico, organizacional, proyectos, productos y procesos).
- Generalmente el riesgo está caracterizado por referencia a eventos potenciales y sus consecuencias, o a una combinación de ambos.
- Por lo general, el riesgo se define en términos de combinación de las consecuencias de un evento (incluyendo los cambios en las circunstancias) y de su probabilidad de ocurrencia asociada.
- La incertidumbre es el estado de deficiencia de información, entendimiento, desconocimiento, falta de conciencia o probabilidad de ocurrencia acerca de un evento.

Una situación de incertidumbre se transforma en una situación de riesgo cuando es identificada y valorada en términos del nivel de desviación en torno a un valor esperado, pudiendo ser esta desviación en sentido negativo o positivo, y por lo tanto el evento se categoriza como una amenaza o una oportunidad y por lo tanto se convierte en un elemento clave para la planeación estratégica.

El proceso de transitar de un evento de incertidumbre a un evento de riesgo puede aplicarse a una variable cualquiera (puede ser el tipo de cambio, la tasa de interés, el costo de capital de una inversión, el costo de operación, el costo de una materia prima, el volumen de ventas, etc.), es decir variables de entrada utilizadas en la estructura de un modelo de cálculo del flujo de caja, pero también se puede dar en torno a una variable de salida como lo es un indicador financiero como la TIR, el VPN o cualquier otro (Smith & Merrit, 2022). Para que el riesgo de una variable sea valorado, se deben definir sus tres componentes:

El primer componente es el valor esperado, que en términos estadísticos corresponde a la media de un conjunto de datos históricos o estimaciones calculadas.



Estos valores pueden representarse mediante una curva de probabilidad, la cual constituye el segundo componente, al reflejar la distribución de posibles resultados. El tercer componente es la desviación respecto al valor esperado, conocida en estadística como desviación estándar, que describe cómo se dispersan los datos alrededor de la media. Esta medida también se denomina volatilidad y suele utilizarse como sinónimo de riesgo.

Si el concepto de riesgo es en sí mismo la valoración de un evento, el concepto de “gestión del riesgo” adquiere entonces una connotación más estratégica, que se puede interpretar como la gestión de los eventos en función de su impacto y probabilidad, ya sea en sentido positivo o negativo.

Tradicionalmente, ciertas estrategias se emplean para gestionar el riesgo y se adoptan en función de los niveles de apetito y tolerancia de riesgo, de los criterios corporativos y del juicio de los expertos. Por un lado, están las estrategias que minimizan los resultados negativos (amenazas) mediante estrategias como eliminar, escalar, mitigar, transferir y aceptar el riesgo (IEC/ISO-31010, 2019) y las segundas son estrategias que buscan optimizar los resultados positivos (oportunidades) mediante estrategias como explotar, escalar, compartir y mejorar (Bravo & Sánchez, 2012). Asumir que el valor esperado de una variable sea alcanzado sin plantear estrategia alguna es ya un riesgo en sí mismo.

No existe una clasificación universal de los riesgos, atendiendo a diversas definiciones institucionales y de autores diversos y para efectos de este estudio se propone una agrupación conceptual en tres grandes rubros: financieros, operativos y estratégicos. Esta tipología tiene un carácter referencial solamente sin que ello genere sesgo conceptual y demerite el análisis detallado de cada riesgo en la evaluación particular de cada proyecto.

Los riesgos financieros como la volatilidad de tasas de interés, del tipo de cambio, de liquidez o crédito, suelen ser determinantes para la bancabilidad de un proyecto (de los Heros, Juan; Marín, Luis, 2016). Por lo general se gestionan mediante coberturas, instrumentos financieros y esquemas contractuales para mitigar y transferir el riesgo (PerkinsCoie LLC, 2018). Los riesgos operativos, por su parte, abarcan factores internos y externos tanto en etapa de proyecto como en etapa de operación y son de carácter múltiple, van desde las afectaciones por el desempeño del personal (fraudes, demandas, retención de talento, etc.), fallas en los procesos de producción (accidentes, mala calidad de productos, retraso de suministros, etc.), fallas estructurales que afecten la liquidez, problemas de mercado (incremento de



precios, reducción de demanda, etc.), problemas tecnológicos (no se cumplen las expectativas de desempeño, complejidad operativa, etc.) y eventos externos (vandalismo, hackeo, incendio, desastres naturales, etc.).

Hay algunos tipos de riesgo que por definición son estratégicos como lo son los riesgos de fusiones y de mercado (García-Nieto, Bueno-Rodríguez, Ramón-Jerónimo, & Flórez-López, 2024), más allá de ello, no existe una regla para determinar cuáles son los riesgos extremos o estratégicos per se, en virtud de que cualquier situación puede escalar hacia un nivel de riesgo estratégico por su pobre gestión, el concepto se aplica a eventos que comprometen los objetivos fundamentales del negocio o la continuidad del proyecto mismo, así, se reconoce al riesgo estratégico como el nivel donde se juega la viabilidad última del proyecto, están relacionados con la reputación, el establecimiento de la buena relación con los grupos de interés y el comportamiento ético de los empleados, los asuntos de carácter geopolítico y el riesgo país, también aquellos que dependen de marcos normativos que son complejos y, a menudo, contradictorios. Existen otros riesgos que rara vez se cuantifican, pero pueden frenar un proyecto por completo como el riesgo social (protestas, conflictos por uso de agua o tierra o resistencias de comunidades).

Datos del Independent Project Analysis (IPA) quien durante más de 30 años ha estudiado los proyectos de inversión complejos a gran escala, indican que más del 65% de los proyectos desarrollados con un presupuesto de más de mil millones de dólares de inversión fallaron en el cumplimiento de alguno de sus objetivos, debido a una estrategia fallida del manejo de los riesgos, estadísticamente, el IPA ha determinado, que el riesgo de un proyecto es influenciado por el tamaño del proyecto y su complejidad (Merrow, 2011). El 81 % de las empresas que han experimentado las mayores pérdidas en el valor para sus accionistas atribuyen dichas caídas principalmente a errores estratégicos. Este dato evidencia la relevancia crítica que tiene la articulación entre la estrategia empresarial y la gestión de riesgos en la creación de valor empresarial (Montoya & Rivas, 2018).

Dado que los riesgos estratégicos son complejos y difíciles de modelar cuantitativamente, el pensamiento estratégico debe permear todas las áreas del negocio. La visión tradicional del riesgo como una expectativa matemática resulta insuficiente en entornos de alta incertidumbre-(Aven, 2016), así, el riesgo estratégico debe ser empleado como el eje orientador de las decisiones.



Si bien lo cualitativo es esencial, la modelación cuantitativa continúa siendo el lenguaje indispensable para llevar los riesgos al terreno financiero, ciertas variables se convierten en los auténticos controladores del proyecto, aquellas que concentran mayor peso en la viabilidad y que demandan una atención prioritaria en la gestión y asignación de recursos. A menudo están asociadas con los rubros más sensibles financieramente —como el costo de capital, los costos de operación o los ingresos—, aunque no se trata de una regla fija: cualquier riesgo potencial debe ser evaluado por su impacto específico.

Para evaluar el riesgo de manera certera, es fundamental considerar el impacto de cada variable en conjunto con otras. Los escenarios completamente pesimistas u optimistas son poco probables, ya que implican una alineación extrema de todas las variables. Por ello, es necesario evaluar estadísticamente la correlación entre ellas y aplicar ponderaciones acordes a sus distribuciones de probabilidad. En casos donde puedan surgir eventos extremos —como los llamados “cisnes negros”— se deben aplicar criterios de contingencia y manejo de crisis.

La modelación de estas variables críticas debe apoyarse en los modelos estadísticos que mejor se ajusten al comportamiento histórico o estimado, quedando en manos de los evaluadores del proyecto definir los criterios de significancia y robustez

METODOLOGÍA

La gestión moderna del riesgo demanda una convergencia metodológica que articule marcos normativos, herramientas cuantitativas y juicio experto, con el propósito de desarrollar sistemas de evaluación más robustos y multidimensionales. En este contexto, la incertidumbre y el riesgo deben abordarse desde diversas perspectivas —financiera, operativa, estratégica y estructural— mediante un enfoque integrador que combine tecnología, estadística y conocimiento humano especializado. Esta sinergia constituye el núcleo de una gestión de riesgos adaptativa y alineada con los estándares internacionales vigentes.

Entre los estándares, los acuerdos de Basilea I, II y III introducen modelos regulatorios avanzados para la gestión de riesgos financieros, tales como el Value at Risk (VaR) y las pruebas de estrés. Por su parte, el marco COSO ERM vincula la gestión del riesgo con la estrategia organizacional y el desempeño corporativo, mientras que la norma ISO 31000 proporciona una estructura transversal, flexible y



aplicable a cualquier tipo de organización. En el ámbito de la gestión de proyectos, el PMBOK ofrece una secuencia de procesos orientados a la planificación y control de riesgos.

En el contexto del financiamiento estructurado, el enfoque de Project Finance se fundamenta en la asignación contractual de riesgos y en la modelación rigurosa de los flujos de caja asociados al proyecto. Asimismo, se reconoce el valor de las herramientas digitales basadas en software que incorporan métodos de simulación con enfoques dinámicos y/o estocásticos, permitiendo una representación más realista de los escenarios de riesgo.

El concepto y la métrica del Valor en Riesgo (VaR), ampliamente utilizado en el ámbito financiero, permite reportar el riesgo asociado a un proyecto en términos de sus tres componentes: valor esperado, desviación y probabilidad. Este concepto se puede extraer para obtener un valor estadístico representativo de los flujos de caja descontados y a los indicadores financieros, se requieren miles de simulaciones que exploren todas las combinaciones posibles de las variables involucradas. Métodos como la simulación Monte Carlo y el uso de software especializado permiten estimar el valor esperado, la volatilidad y la distribución de probabilidad de los resultados financieros.

Desde esta perspectiva, esta propuesta metodológica plantea la integración estructurada de las dimensiones cualitativa y cuantitativa de la gestión del riesgo, como parte esencial de los procesos de formulación y evaluación, adoptando un enfoque estratégico, dinámico y contextualizado, sustentado en los siguientes ejes:

Integración cualitativo–cuantitativa. La identificación cualitativa de riesgos debe vincularse de forma directa con su posterior modelación cuantitativa, garantizando coherencia y continuidad en todo el proceso de análisis.

Escenarios con enfoque estratégico en la fase cualitativa. Más que enumerar riesgos, es necesario plantear escenarios múltiples que respondan a los objetivos del proyecto y consideren la posible escalación hacia riesgos estratégicos, alineando el análisis con el propósito de largo plazo, basado en el juicio y experiencia.

Modelación cuantitativa avanzada. El uso de simulaciones como Monte Carlo y software especializado permite ponderar el efecto combinado de las variables críticas, integrando riesgos parciales y oportunidades. Así, la cuantificación probabilística amplía la visión de los impactos



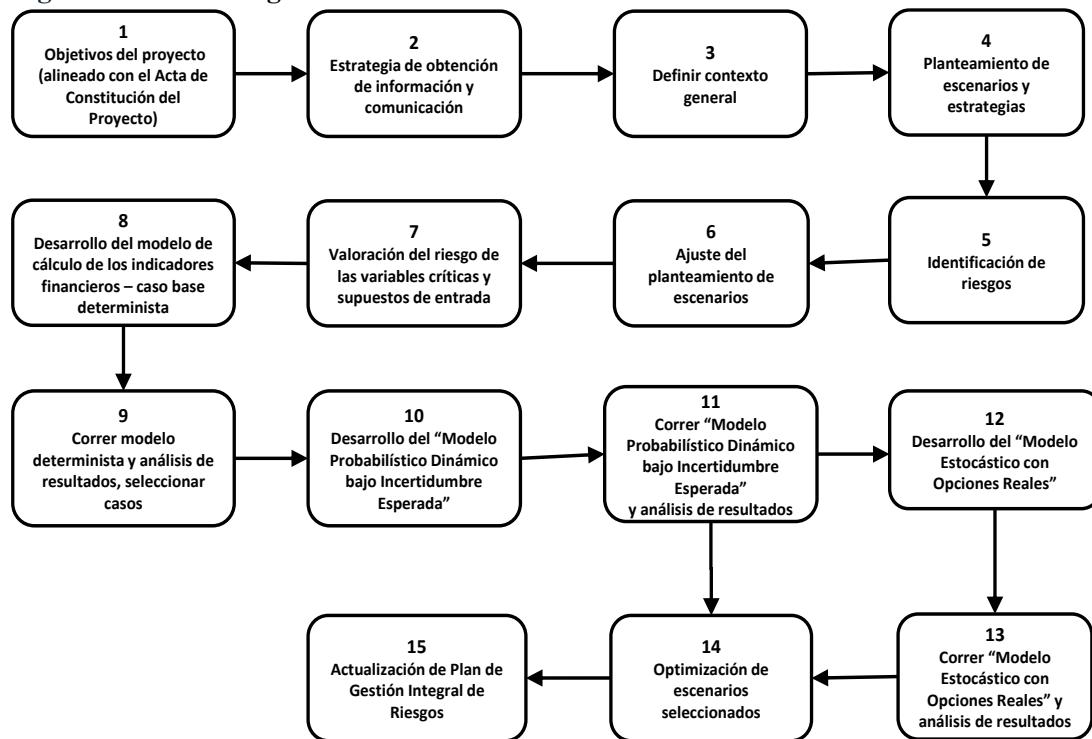
financieros y habilita decisiones más informadas complementando la visión determinista con modelos dinámicos y/o estocásticos además de los análisis comparativos entre los escenarios, para finalmente optimizar las alternativas seleccionadas.

Decisiones basadas en opciones y no en binarios. La decisión final debe trascender el dilema ejecutar / no ejecutar. La toma de decisiones debe sustentarse en la evaluación de un espectro amplio de alternativas estratégicas, considerando la naturaleza específica de los escenarios y los resultados esperados. Entre las opciones viables se incluyen: diferir la implementación del proyecto, ajustar la capacidad operativa, desarrollar el proyecto en fases, incrementar la inversión, contemplar la opción de abandono, o ejecutar un proyecto piloto con el propósito de obtener información adicional que permita reducir la incertidumbre. Este enfoque orientado a la flexibilidad y al análisis de múltiples rutas de acción contribuye a una gestión más robusta, adaptativa y alineada con los objetivos organizacionales.

Reajuste metodológico en la gestión de riesgos. Tomando como base los estándares de la gestión del riesgo se propone incorporar el replanteamiento temprano de escenarios bajo la óptica de los riesgos estratégicos.

Basado en lo anterior, las etapas propuestas de la metodología son:

Figura 1 – Metodología



Fuente: adaptado de (IEC/ISO-31010, 2019), (PM-BOK 6a. Ed., 2017) y (Bello, 2022)



La metodología propuesta contempla el desarrollo de tres modelos analíticos. El primero corresponde al modelo determinista tradicional, el cual se utiliza como caso base para efectos comparativos (etapa 8). El segundo, denominado “Modelo Probabilístico Dinámico bajo Incertidumbre Esperada” (etapa 9), incorpora simulaciones tipo Monte Carlo aplicadas a variables representadas mediante distribuciones de probabilidad, construidas a partir de datos históricos, estimaciones expertas, referencias sectoriales o supuestos razonables. Este modelo no se fundamenta en una estructura matemática que represente la incertidumbre como un proceso continuo en el tiempo, sino en la generación de escenarios discretos que reflejan trayectorias posibles. Su carácter dinámico radica en la capacidad de simular múltiples resultados, aunque sin incorporar formalismos estocásticos como el movimiento browniano, procesos de Wiener, árboles binomiales o decisiones contingentes dependientes del estado del sistema.

Por esta razón, se evita el uso del término “estocástico” en su denominación, reservándolo exclusivamente para modelos que sí integran dichas estructuras, como el desarrollado en la etapa 12, descrito como “Modelo Estocástico con Opciones Reales”.

El concepto de “Incertidumbre Esperada” se refiere a la representación cuantitativa de la variabilidad futura de las variables críticas —tales como ventas, costos o demanda— basada en información disponible al momento del análisis. En este sentido, el uso de incertidumbre esperada dentro del Modelo Probabilístico Dinámico resulta metodológicamente válido, ya que permite capturar la dispersión anticipada de los resultados financieros sin requerir una estructura estocástica formal. Este enfoque ofrece una herramienta práctica para representar el riesgo operativo y financiero, especialmente en situaciones donde no se dispone de modelos estructurales ni de datos suficientes para su calibración.

Los escenarios generados no buscan predecir el futuro con precisión, sino representar de manera razonable la variabilidad potencial de las condiciones relevantes del proyecto. Al asignar distribuciones de probabilidad a variables clave se construye un marco analítico que facilita la comparación de alternativas de inversión bajo distintos contextos de riesgo.

Caso de estudio

Etapa 1 Objetivos del proyecto: Implementar un proyecto tecnológico de un proceso innovador enfocado a alcanzar las metas de descarbonización (reducción de emisiones de CO₂) para el año 2030



de una empresa siderúrgica. Esta alternativa debe ser orientada a una visión de largo plazo y que pueda escalar a lograr niveles altos de descarbonización.

Etapa 2 - Estrategia de obtención información y comunicación. Expertos proponen que para alcanzar este objetivo se implemente un proyecto piloto para la producción de materias primas y energía a partir de residuos municipales, agrícolas y/o industriales a fin de sustituir el uso del gas natural. Para lograr lo anterior, es necesario la implementación un proyecto basado en un esquema de biorrefinería, cuya inversión es del interés de un tercero. La biorrefinería es el proceso sostenible que transforma biomasa en un espectro de productos comercializables de base biológica a los que se les denomina bioenergía (biocombustibles, energía eléctrica y calor) y bioproductos como alimentos, químicos y materiales (IEA Bioenergy Task 42, 2020). (Biomasa es cualquier materia de origen biológico o desechos de organismos vivos: residuos derivados de actividades agropecuarias, silvícolas, agrícolas, aceites extraídos de semillas y algas y desechos orgánicos animales y humanos, se incluye también a los residuos municipales orgánicos y los industriales como madera, plástico, papel y tela). Las biorrefinerías son en sí mismos proyectos creados con propósito ambiental y están ganando protagonismo como parte clave en la transición hacia modelos de negocio orientados a la sostenibilidad. Representan uno de los mayores retos dentro del ámbito de la transición energética y la economía circular, debido a su elevada complejidad técnica, económica y operativa. Se caracterizan por sus altos niveles de incertidumbre tecnológica y económica, adoptar una postura proactiva ante el riesgo, es clave para anticipar y reducir posibles impactos y gestionar estos desarrollos como un programa multiproyecto permite articular diversas iniciativas (como el aprovechamiento de residuos para la producción de bioenergía y biomateriales) dentro de una estrategia unificada, lo que favorece una mejor asignación de recursos y fortalece la resiliencia organizacional (Smith, Merna, & Jobling, 2014).

El proyecto por su compleja naturaleza y al no disponer de información histórica suficiente y confiable como para desplegar un proyecto de gran capacidad se propone de desarrolle como proyecto piloto para la obtención de información que permita saber el desempeño financiero y técnico, así como conocer los riesgos asociados a fin de evaluar la factibilidad de escalar hacia proyectos de mayor tamaño. Sin embargo, aun siendo un proyecto piloto, las buenas prácticas de la Gestión de Proyectos dictan que antes de la erogación de recursos monetarios para la construcción se debe realizar un estudio de



prefactibilidad (FEED 1)² que proporcione datos preliminares a fin de determinar la potencial viabilidad del proyecto y determinar si procede la asignación de recurso adicional a una siguiente fase para profundizar en la evaluación y precisar con más detalle los alcances, costos, tiempos y riesgos del proyecto.

La información más importante es la que se obtiene a partir de los oferentes de las tecnologías y de la consulta de referencias y consultores especializados en el tema. Por su parte, las firmas de consultoría en materia técnica, legal y financiera complementan los requerimientos técnicos, legales y financieros respectivamente con las actividades, alcance, costos y riesgos asociados al desarrollo del proyecto. La percepción del riesgo por parte de estos es un invaluable activo debido a la mezcla de sus habilidades y conocimientos.

Etapa 3 – Contexto general. La estrategia central radica en la vinculación de la biorrefinería a una empresa ya establecida y de sólida presencia en el sector de la industria siderúrgica, conformándose como un elemento de la cadena de valor mediante la proveeduría de materias primas y/o combustibles verdes, apoyando en los objetivos de descarbonización, hoy día esta empresa utiliza el gas natural para sus operaciones, el cual lo canaliza como energético y también es utilizada como materia prima en los procesos de producción.

Se pretende que el proyecto sustituya el consumo de gas natural entre un 2% y 3%, este enfoque de cubrir solo una parte de la demanda, está basado en evaluar el potencial de llevarlo a una mayor escala o bien desarrollar la replicabilidad o extensión a medida que se desarrolla la infraestructura, el conocimiento y el capital humano de acuerdo con las recomendaciones planteadas por la ONU (ONU Energía, 2007).

Etapa 4 - Planteamiento de escenarios y estrategias y Etapa 5 – Identificación de riesgos. Se han definido nueve escenarios resultantes de la combinación de tres materias primas y tres productos distintos. Este conjunto inicial no contempla, por el momento, las posibles alternativas relacionadas con

² FEED: Front End Engineering Design, también llamada FEL (Front End Loading), es una metodología desarrollada por Ed Merrow en 1987 (Fundador de IPA – Independent Project Analysis) y de uso estandarizado a nivel mundial para proyectos de infraestructura compleja. <https://www.ipaglobal.com/team/edward-merrow/>



exenciones fiscales, subsidios o mecanismos de apoyo financiero, los cuales podrán ser incorporados y evaluados posteriormente, en función de los resultados obtenidos en esta primera fase del análisis.

Se deberá asegurar el abastecimiento de dos o más materias primas, para lo cual, como parte de la estrategia se buscará establecer alianzas con los generadores de los residuos para formar parte de la cadena de valor, con contratos de largo plazo o bien como asociados.

Las materias primas para explorar son:

Residuos sólidos municipales (RSM), es decir, la basura del tipo doméstico exceptuando los metales y vidrio.

- Establecer alianzas con el Municipio y preferentemente recibir un ingreso por parte de este debido a la disposición del residuo (tipping fee).
- Contribuir con la reducción de la demanda de suelo para los rellenos sanitarios.
- Un primer acercamiento indica que el Municipio no impondría un costo del RSM pero tampoco del pago del procesamiento del residuo por lo tanto el proyecto absorbería el costo de recolección y transportación.

Residuos agrícolas (RA), como las puntas de caña y residuos de piña entre otros.

- Hay disponibilidad de alrededor de 55 mil toneladas al año solamente de puntas de caña en México.
- Los generadores de los residuos agrícolas han externado su interés de participar como proveedores (y posiblemente como socios).
- Evaluar el impacto del costo logístico.

Residuos industriales (RI), son aquellos elaborados a base de carbono (madera, plásticos, unicel, tela, cartón, papel, etc.).

- Establecer convenios a nivel de parques industriales.
- Un primer acercamiento detecta que el costo de este residuo sería nulo y no se pagaría cuota por su recolección, por lo que los gastos incurridos correrían a cuenta del proyecto.

Los productos considerados son: energía eléctrica (EE), gas de síntesis (CO) para usar como combustible y gas de síntesis (GS) para uso como materia prima.



Tabla 1 – Matriz de alternativas de proyecto

	Escenario								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Materia prima	Residuo sólido municipal (RSM)			Residuo agrícola} (RA)			Residuo Industrial (RI)		
Producto	Energía eléctrica (EE)	Combustible (CO)	Gas de síntesis como materia prima (GS)	Energía eléctrica (EE)	Combustible (CO)	Gas de síntesis como materia prima (GS)	Energía eléctrica (EE)	Combustible (CO)	Gas de síntesis como materia prima (GS)
Escenario	RSM - EE	RSM - CO	RSM - GS	RA - EE	RA - CO	RA - GS	RI - EE	RI - CO	RI - GS

Fuente: diseño propio.

Con respecto a la parte institucional, las oportunidades que emergen con los PODECIBI constituyen un factor clave para proyectos de biorrefinerías, ya que pueden habilitar financiamiento preferencial, apoyo a la innovación o condiciones de mercado más favorables (Diario Oficial de la Federación - Presidencia de la República, 2025, 4 de Julio). Integrar estas oportunidades en el análisis estratégico permite capturar ventajas competitivas que no provienen únicamente del proceso tecnológico, sino del entorno institucional que permite optimizar las alternativas desde una visión sistémica, maximizando valor mientras se minimizan las vulnerabilidades en proyectos de biorrefinería complejos. Un PODECIBI es un Polo de Desarrollo de Economía Circular para el Bienestar, son zonas especiales creadas por el gobierno mexicano para impulsar proyectos industriales sostenibles, con beneficios fiscales, regulatorios y de inversión para atraer tecnologías limpias y economía circular.

Etapa 6 - Ajuste de los escenarios. Se deja como están planteados en virtud de que los escenarios serán evaluados en torno al avance de los estudios y el eventual desempeño de la tecnología, tanto en los aspectos técnicos, costos operativos y riesgos asociados.

Etapa 7 - Valoración del riesgo de las variables críticas

Variable inversión. La estimación del costo de inversión se fundamentó en los datos publicados por (Swanson, Satrio, Brown, Platon, & Hsu, 2010), incorporando ajustes en el equipamiento conforme a las características de las materias primas y el producto, considerando las sinergias entre las plantas, con el objetivo de optimizar los costos operativos. Se aplicó una escalación de tamaño utilizando el criterio de las seis décimas internacionalmente aceptado (Peters, Timmerhaus, & West, 2003), y se actualizaron los valores conforme al (Chemical Engineering Plant Cost Index - CEPCI). Esta variable será considerada como dinámica tomando en consideración la variabilidad reportada por la Association for

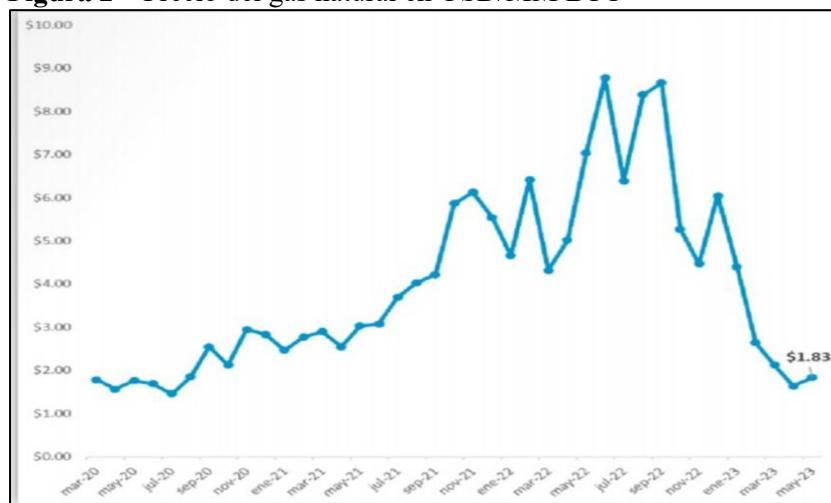


the Advancement of Cost Engineering (AACE³ por sus siglas en inglés y quien ha definido cinco tipos de Estimados de Costo, para las prácticas de manejo de proyectos). Para un estimado de costo Clase 4 la desviación estimada oscila entre -15% / -30% y hasta un +20% / +50% con respecto al valor del estimado de inversión. Para este trabajo se tomará como límites los valores de -20% y + 50% y se considera emplear una distribución de probabilidad triangular.

Variable ingresos. Con base en un análisis del comportamiento histórico y futuro de los precios en el mercado de la energía eléctrica y del gas natural, se tendrá una base y un techo de precio a ofertar para colocar los precios del proyecto bajo un contrato Offtake Agreement (contrato de compra) de largo plazo antes de la construcción de la planta.

Para el gas natural presenta una proyección del precio del orden de los \$8.50 USD/MM BTU (MM BTU = millones de BTUs) en 2023 y de \$10.00 USD/ MM BTU a 2025 para el Estado de Nuevo León (Hinojosa, y otros, 2023). Por su parte, la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), proporciona el valor de 8.5 USD/MM BTU con una tendencia a la alza.

Figura 2 – Precio del gas natural en USD/MM BTU



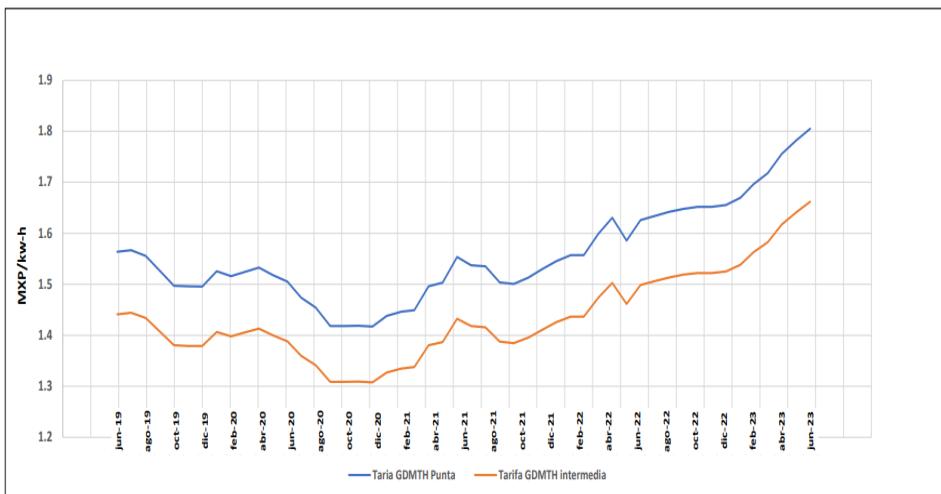
Fuente: (Asociación Nacional de la Industria Química - ANIQ, 2023)

Para el caso de la energía eléctrica, a partir de los datos tomados del portal de la CFE en Monterrey, el precio de la energía eléctrica para la tarifa GMDTH (Gran Demanda Media Tensión Horaria) presenta la siguiente tendencia para las tarifas media y punta en MXP/kw-h:

³ La AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering) ha definido cinco tipos de Estimados de Costo. <https://web.aacei.org>



Figura 3 – Precio de la energía eléctrica



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CFE

A junio de 2023, el precio de la energía eléctrica se encontró en su punto más alto, a un valor del orden de 1.81 MXP/kw-h que basado en un tipo de cambio de \$18 MXP/USD, equivale a 0.10 USD/kw-h.

Ambos energéticos muestran un pronóstico con tendencia al alza. Así, el riesgo relacionado a la variable crítica ingresos, no se verá sensiblemente afectada por las variaciones del precio de los mercados de la energía eléctrica y el gas natural, una vez que este sea negociado, pudiendo de esta manera focalizare más en la variable crítica Inversión y Costo de Operación a fin de ofertar un precio de energía eléctrica y de gas combustible atractivo.

En una primera evaluación, los precios de venta se alinearán al mercado para establecer una referencia inicial. El gas natural se considera a 8.5 USD/MM BTU (33.72 USD/mm kcal), aunque este escenario podría no ser competitivo, dado que el gas de síntesis, al tener un mayor valor añadido, resulta más rentable como materia prima en procesos industriales que como combustible. Al no existir un mercado establecido para el gas de síntesis (ya que es producido in situ) su precio será negociado, proponiéndose inicialmente en 0.35 USD/kg. Asimismo, la energía eléctrica se evaluará con un precio estimado de 0.13 USD/kWh. No se prevén variaciones significativas en los precios, en virtud de que bajo un contrato de offtake agreement se establecen límites de estos, definiéndose en etapas posteriores mediante negociación los porcentajes de incremento anual aplicables durante la vida útil del proyecto.

Variable materias primas. De acuerdo con lo descrito en la Etapa 4 para los residuos de las alternativas a) y c) no habrá valoración del riesgo del costo, pero para el caso del costo de la alternativa b) el proveedor se compromete a mantener que este precio pueda fluctuar entre un $\pm 25\%$, con una



confiabilidad del 95% y una distribución normal de probabilidades. (En el caso de que no se disponga de información suficiente se puede asignar una probabilidad normal cuando se dispone de los datos de la media y desviación estándar; una probabilidad triangular cuando se dispone del dato mínimo, máximo y más probable; una probabilidad uniforme cuando solo se dispone de los datos mínimo y máximo y una distribución probabilidad del tipo Bernoulli cuando se disponga de la probabilidad de ocurrencia para cada una de las decisiones binarias. Lo anterior solo como una guía, que debe ser validada por un experto y utilizada con cautela **y** tomando las reservas pertinentes).

Variable costos de operación y mantenimiento. Una vez operando la planta, se tiene considerado adjudicar los servicios operativos a través de un Contrato de Operación y Mantenimiento (O&M Agreement), los expertos recomiendan considerar un posible rango del 30% en los costos y un mínimo del -5% sobre el valor preliminarmente estimado del costo de producción, con una distribución de probabilidades triangular.

Variable costo de servicios y energéticos. El suministro de los servicios auxiliares (agua, aire, vapor, etc.) para la operación de la biorrefinería serán proporcionados por los excedentes de energéticos de la empresa siderúrgica, logrando con ello simplificar al proyecto y minimizando costos del proyecto y de la operación y negociados en el precio de los productos. A este mecanismo se le conoce como sinergia y es una estrategia para reducir costos de operación.

Supuestos de entrada.

Los siguientes supuestos de entrada se consideraron para la evaluación, y corresponden al año 2023 por lo que los resultados al día de hoy pudieran diferir debido a los cambios en las variables implicadas:

Mercado

- El precio de venta propuesto de la bioenergía eléctrica es de \$0.13 USD/kw-h, el precio del combustible gaseoso es \$33.72 USD/MM kcal (MM kcal = millones de kilocalorías).
- El gas de síntesis como materia prima carece de un precio definido en el mercado, dado que no se comercializa directamente, se genera y se consume in situ, su precio puede establecerse con base en los costos de producción. Para fines de análisis inicial, se considera un precio de \$0.35 USD/kg.



Técnicos

- La planta tendrá una capacidad de procesamiento de 200 ton/día y operará 8,000 horas por año.
- El rendimiento de los procesos es de 0.9 toneladas de gas de síntesis por tonelada de residuo sólido municipal, mientras que para el residuo agrícola y el residuo industrial es 0.91 y 1.2 respectivamente.
- El costo de las materias primas para el residuo agrícola es de \$ 52.8 USD/ton (con intención de sumarse como socio del proyecto), mientras que para el residuo industrial es de \$ 33.3 USD/ton (el residuo se ofrece sin costo, pero la recolección es a costa del proyecto), para el residuo sólido municipal, no hay costo, pero el municipio no ofrece pago (tipping fee) por su procesamiento, solo ofrece apoyo logístico.
- Por ahora no se considera costo de licencia por uso de tecnología, pero sí el pago de una regalía de 0.1% sobre las ventas.
- Se estima se genere un 15-17% de residuos basados en el residuo de entrada con un costo de disposición de \$ 47.6 USD/ton.
- Costo de operación por procesamiento: \$ 32.51 USD/ton para el residuo sólido municipal, mientras que para el residuo agrícola y el residuo industrial es de \$ 29.51 USD/ton y \$29.52 USD/ton respectivamente.
- Costos de mantenimiento de planta: 19% del costo de operación.
- El poder calorífico del gas de síntesis combustible depende de la composición final, se tomará un valor promedio de 2 MM kcal/h.
- Para la transformación del gas a energía eléctrica se considera un microturbina con una eficiencia estimada del 40%.
- Parte del gas de síntesis se destina a la producción de energía eléctrica para uso propio.

Financieros

- Horizonte de tiempo para evaluación del proyecto: 10 años.
- Estructura de capital: 40% capital propio (inversionistas que esperan al menos un 17% de rendimiento) y 60% crédito refaccionario con tasa al 10% a un plazo de 10 años.
- Tipo de cambio: \$18 MXP/USD.



- Tasa corporativa para cálculo del VPN: 12.8% (Se consideró el valor del WACC).
- ISR de 35% y un PTU de 10%.
- Crédito por bonos de CO₂ no se considera por ahora.
- Costo de administración y venta se estiman en 8% de costo de operación.

Etapa 8 y 9 – Desarrollar y correr modelo de cálculo base determinista y análisis de resultados.

Datos entrada al modelo. Para la realización del cálculo se empleó el software PEAT (Project Economic Analysis Tool). El modelo se puede correr en modalidad determinista y/o dinámica. Basado en los escenarios planteados, se muestran los datos alimentados al modelo, a manera de ejemplo se muestra solo la alimentación de datos al software del caso 9, en el software, las variables dinámicas se declaran con sus parámetros estadísticos, los datos se reportan en millones de dólares americanos:

Figura 4 – Datos de entrada caso 9

	AÑO										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ingresos	\$0.00	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15	\$47.15
Venta energía eléctrica principal		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Venta energía eléctrica excedente		\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18
Venta de gas de síntesis (combustible)		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Venta de gas de síntesis (materia prima)		\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97	\$41.97
Ingresos por disposición de sólidos		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Ingresos por bonos de CO ₂		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Otros											
Costos Directos	\$0.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00	\$7.00
Matería prima		\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22	\$2.22
Manufactura		\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81	\$2.81
Mantenimiento		\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25	\$1.25
Personal		\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72	\$0.72
Otros											
Utilidad Bruta	\$0.00	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15	\$40.15
Gastos Indirectos (General) & Administrativos	\$0.00	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56	\$0.56
EBITDA	\$0.00	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59	\$39.59
Depreciación		\$8.98	\$8.98	\$8.98	\$8.65	\$8.40	\$8.40	\$8.40	\$8.40	\$8.40	\$8.40
Amortización		\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50	\$0.50
EBIT	\$0.00	\$30.11	\$30.11	\$30.11	\$30.44	\$30.69	\$30.69	\$30.69	\$30.69	\$30.69	\$30.69
Intereses		\$5.46	\$5.12	\$4.74	\$4.33	\$3.87	\$3.37	\$2.82	\$2.21	\$1.54	\$0.81
EBT	\$0.00	\$24.65	\$24.99	\$25.37	\$26.11	\$26.82	\$27.32	\$27.87	\$28.48	\$29.15	\$29.88
Impuestos Corporativos	\$0.00	\$11.09	\$11.25	\$11.42	\$11.75	\$12.07	\$12.29	\$12.54	\$12.82	\$13.12	\$13.45
UTILIDAD NETA		\$13.56	\$13.74	\$13.95	\$14.36	\$14.75	\$15.03	\$15.33	\$15.66	\$16.03	\$16.43
Total de Elementos sin Gasto de Efectivo	\$0.00	\$6.05	\$5.71	\$5.34	\$4.59	\$3.88	\$3.38	\$2.83	\$2.22	\$1.56	\$0.82
Amortización de deuda		(\$3.43)	(\$3.77)	(\$4.14)	(\$4.56)	(\$5.02)	(\$5.52)	(\$6.07)	(\$6.68)	(\$7.34)	(\$8.08)
Otros Gastos que no implican Desembolso de Efectivo											
INVERSIONES DE CAPITAL	\$90.99	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Inversión diferida	\$5.00										
Inversión fija	\$82.99										
Otras inversiones	\$3.00										
GANANCIA NETA OPERATIVA DESPUES DE IMPUESTOS (NOPAT)	\$0.00	\$16.56	\$16.56	\$16.56	\$16.74	\$16.88	\$16.88	\$16.88	\$16.88	\$16.88	\$16.88
FLUJO DE CAJA NETO (FCN)	\$0.00	\$19.61	\$19.45	\$19.29	\$18.95	\$18.63	\$18.41	\$18.16	\$17.88	\$17.59	\$17.25

Fuente: datos de entrada del software PEAT.



Etapa 10 y 11- Desarrollar y correr modelo probabilístico bajo incertidumbre esperada y análisis de resultados. Se corren el modelo en el software PEAT utilizando una simulación de 10,000 escenarios para el cálculo dinámico.

Etapas 12, 13, 14 y 15. Serán desarrollados posteriormente dependiendo de los resultados preliminares.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con modelo determinístico. De los resultados de los nueve casos, se muestra que la TIR y el VPN de los escenarios 1 a 8 muestran resultados negativos y solo el escenario 9 es financieramente viable, reportando para el caso una TIR de 16.0% y un VPN de \$ 11.7 MM USD para un horizonte de 10 años.

Los resultados de todos los escenarios muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 – Comparativo de indicadores financieros bajo modelo determinista para todos los escenarios.

	Escenario								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Materia prima	Residuo sólido municipal (RSM)			Residuo agrícola (RA)			Residuo industrial (RI)		
Producto final	Energía Eléctrica	Gas de síntesis (combustible)	Gas de síntesis (materia prima)	Energía Eléctrica	Gas de síntesis (combustible)	Gas de síntesis (materia prima)	Energía Eléctrica	Gas de síntesis (combustible)	Gas de síntesis (materia prima)
Total Inversión de Capital	\$118	\$111	\$111	\$116	\$109	\$109	\$98	\$91	\$91
Valor Presente Neto - VPN (MM USD)	-\$143.86	-\$140.14	-\$76.82	-\$188.88	-\$185.14	-\$116.87	-\$65.87	-\$65.36	\$11.73
Tasa Interna de Retorno (TIR)	Flujos de caja negativos	Flujos de caja negativos	-10.77%	Flujos de caja negativos	Flujos de caja negativos	Flujos de caja negativos	-9.64%	-12.01%	16.01%
Retorno de la Inversión (ROI)	-122.04%	-126.51%	-69.35%	-162.49%	-169.67%	-107.11%	-67.14%	-71.83%	12.89%
Periodo de Recuperación (años)									4.73
EBITDA	67.6	54.5	179.3	-19.3	-32.4	92.4	165.9	140.3	395.9

Fuente: Diseño propio con datos reportados por el PEAT.

Con modelo dinámico.

Solo el escenario 9 se corrió como modelo dinámico. Los resultados de la simulación indican que los pronósticos de la media de los indicadores financieros en este modelo dinámico se reportan menores que para el modelo determinístico, sin embargo, la bondad del modelo dinámico permite acotar los valores de los indicadores financieros dentro de un rango de probabilidades y de nivel de confianza determinados, lo que permite tomar decisiones con más certeza y muestran la oportunidad de optimizar el escenario 9 que puede alcanzar valores más altos de la media.



La Tabla 3 muestra los valores de la TIR y el VPN.

Tabla 3 – Comparativo de indicadores financieros bajo modelo dinámico escenario 9.

	TIR (%)		VPN (MM USD)	
	Deterministico	Dinámico con 95% de confianza	Deterministico	Dinámico con 95% de confianza
Caso 9	16.00%	Entre 8% y 20% con una media de 13.2%	\$ 11.73	Entre -22.74 y +22.62 con una media de 2.71

Fuente: Diseño propio con datos reportados por el PEAT.

Optimización y análisis futuros

El escenario 9 se pueden optimizar una vez que se hayan analizado los resultados y se evalúe la sensibilidad de las variables, a efecto de definir escenarios mejorados para recalcular los indicadores financieros.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo de escenarios revela que el escenario 9 presenta los resultados más favorables en términos de desempeño global. Sin embargo, los escenarios 3, 7 y 8 también deben considerarse en la etapa de preselección, dado que ofrecen enfoques estratégicos alternativos que podrían aportar flexibilidad y adaptabilidad al proyecto.

La selección de materias primas con bajo contenido de humedad se identifica como un factor técnico crítico, ya que contribuye significativamente a la reducción de costos energéticos y mejora los rendimientos de conversión. Esta decisión incide directamente en la resiliencia operativa y en la competitividad del proyecto.

La producción in situ del gas de síntesis como materia prima para una cadena de procesos vinculados ofrece un valor agregado significativo al eliminar costos de transporte y asegurar continuidad operacional. No obstante, esta integración vertical introduce riesgos sistémicos que deben gestionarse mediante redundancias operativas y una planificación robusta de continuidad.

Los resultados financieros obtenidos en esta fase deben considerarse preliminares, ya que están condicionados por las estrategias de sinergia y los esquemas de proceso evaluados. Cualquier



modificación en la estrategia implicará una variación en dichos resultados, lo que subraya la necesidad de mantener una visión dinámica en el análisis financiero.

La implementación de un enfoque por etapas permite identificar desde fases tempranas los escenarios con mayor viabilidad, optimizando así la asignación de recursos y el diseño estratégico del proyecto.

Los modelos propuestos para la gestión de la incertidumbre no deben considerarse definitivos, sino como herramientas de referencia que requieren ser complementadas con metodologías de enfoque estratégico. En este sentido, el riesgo estratégico debe ocupar un lugar central en la evaluación integral de proyectos.

La evaluación de escenarios basada en criterios de flexibilidad permite explorar alternativas diversas y capitalizar oportunidades contextuales, favoreciendo la identificación de opciones más viables en entornos cambiantes.

La modelación del riesgo debe abordarse de manera integral, combinando enfoques cualitativos-estratégicos con análisis cuantitativos-estadísticos, lo que permite una comprensión más profunda de las vulnerabilidades y fortalezas del proyecto.

La sinergia entre tecnología y conocimiento humano se configura como un elemento clave para fortalecer la evaluación de riesgos, al integrar capacidades analíticas con experiencia contextual.

La modelación dinámica se presenta como una herramienta fundamental para delimitar el rango de oportunidades aprovechables y anticipar escenarios adversos, lo que facilita la toma de decisiones informadas y estratégicas.

La inversión con propósito transforma el riesgo en una oportunidad, alineando decisiones estratégicas con metas de largo plazo como la innovación, la sostenibilidad y el impacto social. Este enfoque genera valor más allá del retorno financiero.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008). *Estadística para Administración y Economía*. Cenage Learning, 10a. Ed.

Asociación Nacional de la Industria Química - ANIQ. (Junio de 2023). Obtenido de <https://aniq.org.mx/webpublico/publicaciones.asp>.



Aven, T. (2016). *Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation.*

European Journal of Operational Research. doi:10.1016/j.ejor.2015.12.023

Banobras. (2020). *Guía práctica para la preparación de proyectos de Asociaciones Público Privadas.* México.

Beckley, J. (2025). Advanced risk assessment techniques: Merging data-driven analytics with expert insights to navigate uncertain decision-making processes. *International Journal of Research Publication and Reviews Vol 6. Issue 3*, 112-128.

Bello, M. A. (2022). *Curso Gestión integral de riesgos con apoyo de herramientas analíticas.* www.software-shop.com.

Bravo, O., & Sánchez, M. (2012). *Gestión Integral de riesgos, 4a. Ed.* B&S.

Castrillón, M. (2024). La inversión con propósito ya no es un lujo. *Revista C-Level.* Obtenido de <https://revistaclevel.com/opinion/la-inversion-con-proposito-ya-no-es-un-lujo>

Chávez, S. (2018). El Concepto de Riesgo. Recursos Naturales y Sociedad,. Vol. 4 (1):32-52. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.01.0003>.

Chemical Engineering Plant Cost Index - CEPCI. (s.f.). *Chemical Engineering Magazine.* Obtenido de <https://www.chemengonline.com>

de los Heros, Juan; Marín, Luis. (2016). Una Revisión al Project Finance. *Derecho Administrativo e Inversión Privada RDA-16.*

Diario Oficial de la Federación - Presidencia de la República. (2025, 4 de Julio). Decreto por el que se otorgan beneficios fiscales en los Polos de Desarrollo de Economía Circular para el Bienestar.

Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <http://sidof.segob.gob.mx/notas/5762117>

Energy and Commerce. (2019). Foro: Proyectos de Inversión en México, mejores prácticas y variables determinantes.

García-Nieto, M., Bueno-Rodríguez, V., Ramón-Jerónimo, J., & Flórez-López, R. (2024). Trends and risks in mergers and acquisitions: A review. *Risks* 12. doi: <https://doi.org/10.3390/risks12090143>

Gatti, S. (2020). *Financing and Investing in Infrastructure.* Bocconi University.

Gatti, Stefano. (2008). *Project Finance in Theory and Practice.* Elsevier.



- Haidar, T., & Colhoun, C. (2018). Death of the megaprojects? How to solve the problems involved in the oil & gas industrie. *Oil and Gas IQ*.
- Hinojosa, J., Parra, L., Duque, J., Villamizar, S., Márquez, J., & van den Bos, A. (2023). *Prospectiva Energética: Hidrógeno Verde en Nuevo León*. Alemania: Ministerio Federal de Economía y Protección. Ambiental - Alemania.
- IEA Bioenergy Task 42. (2020). *Bio-Based Chemicals*. Technology Collaboration Programme. Obtenido de <https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2020/02/Bio-based-chemicals-a-2020-update-final-200213.pdf>
- IEC/ISO-31010. (2019). Gestión de Riesgos / Técnicas de Valoración de Riesgos.
- ISO 31000. (2018). Administración y Gestión de Riesgos.
- ISO 73. (2009). Gestión del riesgo - Vocabulario.
- Mascareñas, J. (2018). *Introducción a la gestión del riesgo*. Universidad Complutense de Madrid.
- Merrow, E. W. (2011). *Industrial Megaprojects - Concepts, strategies, and practices for success*. Wiley.
- Miller, B. (2015). Converting MSW Into Low-Cost, Renewable Jet Fuel. IATA Alternative Fuel Symposium.
- Montoya, C., & Rivas, L. M. (2018). Riesgo Estratégico: Contraste de perspectivas. *Red de Posgrados e Investigación Latinos en Administración y Estudios de la Organización. Universidad EAFIT*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/290653941.pdf>
- ONU Energía. (2007). *Bioenergia Sostenible. Un marco para la toma de decisiones*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/f3c7c3cf-372a-4c15-9a6a-60653a004e00>
- Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Roura, H. (2005). *Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública*,. Santiago de Chile: CEPAL. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5608-metodologia-general-identificacion-preparacion-evaluacion-proyectos-inversion>
- PerkinsCoie LLC. (2018). *Seminar on Large-Scale Energy Infrastructure Investments (Legal Issues Seminar for Project Finance)*. CDMX, Pierce, John; Kuzma, Jazon.
- Peters, M., Timmerhaus, K., & West, R. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. (5th ed.). McGraw-Hill.



PM-BOK 6a. Ed. (2017). Project Management Institute.

PMBOK-7a.Ed. (2021). Project Management Institute.

Rivas, L. M., Montoya, C., Villanueva, E., Núñez, M., & Jaraba, I. M. (2020). Riesgo Estratégico.

EAFIT. doi: <https://doi.org/10.17230/9789587206425lr0>.

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. F. (2010). Finanzas Corporativas, 9a. Ed. Mc. Graw-Hill.

Smith, J., & Merrit, R. (2022). Managing financial uncertainty: From stochastic inputs to risk-adjusted outcomes in capital budgeting. *Journal of Financial Modeling and Analysis*, 215-238. doi: <https://doi.org/10.63053/ijmea.32>

Smith, N., Merna, T., & Jobling, P. (2014). Managing risk in construction projects. John Wiley & Sons.

Swanson, R. M., Satrio, J. A., Brown, R., Platon, A., & Hsu, D. (2010). Techno-Economic Analysis of Biofuels Production Based on Gasification. *National Renewable Energy Laboratory*.

Taleb, N. (2012). *El cisne negro: El impacto de lo altamente improbable*. Lectulandia.

Wang, J. Z. (2019). Harmonized Stochastic Techno-Economic. *ICAO Stocktaking Seminar toward the 2050 vision for Sustainable Aviation Fuels*.



ANEXO

Reporte de salida del PEAT para la TIR del escenario 9 en términos de su distribución de probabilidad.

Anexo I – Reporte de salida del TIR para escenario 9 bajo modelo dinámico



Fuente: Reporte de salida software PEAT.

