



Tesis Doctoral

**Modelo para controlar el desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero utilizando la gestión del valor ganado aplicado a la gestión de proyectos de tecnología IT**

Autora

**Jeanneth Liliana Figueroa Palma**

Director

**PhD José Gustavo Vivas Martín**

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Programa de doctorado en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

2025

---

**DEDICATORIA**

A mis hermosas hijas Nathalie, Sara y Karla,

A mi amado esposo Carlos Andrés

A mi linda madre Mery Palma

A mi padre Mario en memoria

---

## RESUMEN

Esta tesis doctoral aborda el reto crucial que enfrentan las organizaciones en la gestión de proyectos tecnológicos, un desafío marcado por factores como los avances tecnológicos, las transformaciones normativas, la dinámica política, la globalización de la economía y el impacto del cambio climático. En este contexto, la gestión del desempeño ambiental de los proyectos, especialmente en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se convierte en un aspecto clave para garantizar tanto la sostenibilidad como la eficiencia en el desarrollo de proyectos tecnológicos. A través de esta investigación, se propone un modelo integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero (EVM-GEI), que integra las métricas tradicionales de control del desempeño con la medición y gestión de las emisiones de GEI, con un enfoque aplicado a proyectos de tecnología IT.

El objetivo principal de la tesis es desarrollar y validar un modelo que permita controlar el desempeño de las emisiones de GEI en proyectos tecnológicos utilizando la gestión del valor ganado (EVM). Este modelo se enmarca en un análisis integral de los factores ambientales y las metodologías existentes para la medición y monitoreo de los GEI a nivel de tareas dentro del proyecto, permitiendo calcular las emisiones generadas por cada actividad del proyecto. Este enfoque no solo busca optimizar el desempeño económico de los proyectos, sino también incorporar la responsabilidad ambiental como un componente de apoyo en la toma de decisiones del gerente de proyecto, generando datos útiles para la ejecución y mitigación del cambio climático.

La investigación parte de un análisis bibliométrico que explora las tendencias mundiales sobre sostenibilidad, valor ganado y gestión de proyectos. Este análisis permite identificar las principales variables a considerar en la integración de la medición de GEI con la gestión del valor ganado. En el ámbito empírico, la tesis utiliza un enfoque metodológico mixto, que combina análisis cuantitativos y cualitativos, como grupos focales y pruebas de juicio de expertos, para validar el modelo propuesto en el contexto de dos proyectos reales de

---

tecnología en empresas del sector IT. A partir de la recolección de datos y la validación de variables, se desarrolló un modelo que proporciona una herramienta útil para los gerentes de proyectos, facilitando una herramienta como base para la toma de decisiones basadas tanto en el impacto económico como en el ambiental.

Uno de los principales aportes de este estudio es que no solo se presenta un modelo teórico de control de emisiones, sino que se construye una herramienta de intervención metodológica que, además de optimizar el desempeño ambiental, ofrece recomendaciones prácticas para mejorar el control de las emisiones de GEI en los proyectos tecnológicos. Este enfoque no solo contribuye al éxito de los proyectos, sino que también genera valor para las empresas al integrar la sostenibilidad como un pilar estratégico de la gestión de proyectos. El modelo EVM-GEI se convierte así en una herramienta clave para garantizar que los proyectos tecnológicos no solo cumplan con sus objetivos económicos, sino que también se alineen con las exigencias globales de sostenibilidad, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al fortalecimiento de la gobernanza ambiental.

En conclusión, esta tesis no solo presenta un modelo innovador para la gestión de proyectos tecnológicos, sino que también establece un marco conceptual y metodológico para integrar la sostenibilidad ambiental de manera efectiva en la práctica de la gestión de proyectos. La validación empírica del modelo en contextos reales proporciona una base sólida para su implementación en futuras investigaciones y proyectos de tecnología, posicionando esta investigación como un referente clave en la evolución de la gestión de proyectos sostenibles en América Latina y el mundo.

**Palabras clave:** Gestión de proyectos tecnológicos, Desempeño ambiental, Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Sostenibilidad, Modelo EVM-GEI, Gestión del valor ganado (EVM), Medición de GEI, Responsabilidad ambiental, Cambio climático, Gobernanza ambiental

---

## **Abstract**

This doctoral thesis addresses the crucial challenge that organizations face in managing technological projects, a challenge marked by factors such as technological advancements, regulatory transformations, political dynamics, the globalization of the economy, and the impact of climate change. In this context, the management of environmental performance in projects, particularly concerning greenhouse gas (GHG) emissions, becomes a key aspect to ensure both sustainability and efficiency in the development of technological projects. Through this research, an innovative model of Earned Value Management with a Focus on Greenhouse Gas Emissions (EVM-GEI) is proposed, which integrates traditional performance control metrics with the measurement and management of GHG emissions, with a focus on IT technology projects.

The main objective of the thesis is to develop and validate a model that allows for controlling GHG emissions performance in technological projects using Earned Value Management (EVM). This model is framed within a comprehensive analysis of environmental factors and existing methodologies for measuring and monitoring GHG emissions at the task level within the project, allowing for the calculation of emissions generated by each project activity. This approach not only seeks to optimize the economic performance of projects but also incorporates environmental responsibility as a fundamental component in the project manager's decision-making process, generating useful data for execution and climate change mitigation.

The research begins with a bibliometric analysis exploring global trends in sustainability, earned value, and project management. This analysis helps identify the main variables to consider when integrating GHG measurement with earned value management. In the empirical context, the thesis uses a mixed methodological approach, combining quantitative and qualitative analysis, such as focus groups and expert judgment tests, to validate the proposed model in the context of two real technology projects in IT sector companies. Based on data collection and variable validation, a model was developed that provides a useful tool for project

---

managers, serving as a basis for decision-making based on both economic and environmental impact.

One of the main contributions of this study is that it not only presents a theoretical model for emissions control but also builds a methodological intervention tool that, in addition to optimizing environmental performance, offers practical recommendations to improve GHG emissions control in technological projects. This approach not only contributes to the success of the projects but also generates value for companies by integrating sustainability as a strategic pillar of project management. The EVM-GEI model thus becomes a key tool to ensure that technological projects not only meet their economic goals but also align with global sustainability requirements, contributing to climate change mitigation and strengthening environmental governance.

In conclusion, this thesis not only presents an innovative model for managing technological projects but also establishes a conceptual and methodological framework for effectively integrating environmental sustainability into project management practices. The empirical validation of the model in real-world contexts provides a solid foundation for its implementation in future research and technology projects, positioning this research as a key reference in the evolution of sustainable project management in Latin America and the world.

**Keywords:** Technological project management, Environmental performance, Greenhouse gas (GHG) emissions, Sustainability, EVM-GEI model, Earned Value Management (EVM), GHG measurement, Environmental responsibility, Climate change, Environmental governance

---

## CONTENIDO

RESUMEN .....	3
CONTENIDO .....	7
LISTA DE TABLAS .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	15
INTRODUCCIÓN .....	17
ESTRUCTURA DE LA TESIS DOCTORAL .....	19
1.    FUNDAMENTACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.1.    Contextualización del Estudio .....	22
1.2.    Planteamiento del problema .....	23
1.3.    Objetivos de la investigación.....	28
1.3.1.    Objetivo general.....	28
1.3.2.    Objetivos específicos .....	28
1.4.    Preguntas de investigación .....	29
1.5.    Justificación .....	29
1.6.    Resultados esperados en la investigación .....	31
2.    MARCO TEÓRICO .....	35
2.1.    Contextualización.....	35
2.2.    Desarrollo Sostenible .....	35
2.3.    Acuerdo de París .....	36
2.4.    Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.....	38
2.4.1.    Criterios de gobierno, ambiental, social y corporativo. ....	39
2.4.2.    Desarrollo sostenible en Colombia.....	42
2.4.3.    Alineación de la Gerencia de Proyectos con los ODS 9, 12 y 13 .....	43
2.4.4.    ISO 14064-1:2018 y la Transformación Sostenible en Colombia .....	46
2.4.5.    ISO 14064-2:2019 y la Transformación Sostenible en Colombia .....	48
2.4.6.    ISO 14064-3:2019 y la Transformación Sostenible en Colombia .....	49
2.4.7.    El Crecimiento Verde como Estrategia de Transición hacia la Sostenibilidad ...	49
2.4.8.    Emisiones de gases de efecto invernadero.....	51
2.4.9.    La Huella de Carbono como Indicador de Gestión Ambiental .....	60
2.5.    Gerencia de Proyectos.....	61
2.5.1.    Líneas base de un proyecto: alcance, tiempo y costo .....	76
2.5.2.    Desafíos de actualidad en la gerencia de proyectos de tecnología .....	78
2.5.3.    Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos.....	81

---

2.5.3.1.	Green Project Management - Estándar P5™ .....	87
2.5.3.2.	<i>Project Management Body of Knowledge</i> - PMBOK® .....	89
2.5.3.3.	Individual Competence Baseline - IPMA ICB® .....	91
2.5.3.4.	PM²® .....	94
2.5.3.5.	ISO 21502:2020® .....	96
2.5.3.6.	Comparativo de estándares .....	98
2.5.4.	Visión general de la gestión del valor ganado .....	103
2.5.5.	Enfoque Método del Valor Ganado con la gestión del Desarrollo Sostenible ...	119
2.5.6.	Flujo de caja Libre .....	124
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	127
3.1.	Propósito del análisis .....	127
3.1.1.	Hipótesis de investigación .....	128
3.1.2.	Enfoque metodológico del análisis cuantitativo .....	129
3.1.3.	Estructura metodológica detallada .....	138
3.1.4.	Descripción interpretativa de la tesis doctoral .....	141
3.1.5.	Diseño Metodológico: Investigación Mixta de Diseño Científico .....	142
3.1.6.	Trazabilidad metodológica: objetivos, técnicas metodológicas y resultados .....	144
3.1.7.	Enfoque y tipo de Investigación .....	146
3.1.8.	Matriz de operacionalización de variables .....	147
3.1.9.	Estructura Metodológica por Fases y Objetivos Específicos .....	149
3.1.9.1.	Fase I: Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad .....	149
3.1.9.2.	Fase II: Identificación de Factores Generadores de GEI .....	150
3.1.9.3.	Fase III: Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI .....	151
3.1.9.4.	Fase IV: Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio .....	152
3.1.10.	Desarrollo de las Fases Metodológicas .....	154
3.1.10.1.	Fase I: Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad .....	154
3.1.10.1.1.	Etapa 1: Revisión Sistemática Literatura (RSL) .....	154
3.1.10.1.2.	Etapa 2: Grupos focales sobre prácticas en gerencia de proyectos .....	161
3.1.10.1.2.1.	Resumen por sesión del grupo focal .....	163
3.1.10.1.2.2.	Descripción del instrumento de medición .....	165
3.1.10.1.2.3.	Constructos principales del estudio .....	169
3.1.10.1.2.4.	Articulación del Modelo Integrado EVM-GEI y las Hipótesis .....	174
3.1.10.1.3.	Etapa 3: Conclusión de Aplicabilidad .....	176
3.1.10.1.3.1.	Análisis estadístico del instrumento de medición .....	177
3.1.10.1.3.2.	Análisis de Correlación del instrumento de medición .....	180

---

3.1.10.1.3.3.	Evidencia de la Brecha de Integración del Modelo EVM-GEI .....	184
3.1.10.2.	Fase II: Identificación de Factores Generadores de GEI .....	188
3.1.10.2.1.1.	Mapeo de Actividades Estimadas de un proyecto de TI .....	190
3.1.10.2.1.2.	Cuantificación y Fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero ..	195
3.1.10.2.1.3.	Definición de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA).....	199
3.1.10.3.	Fase III: Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI .....	200
3.1.10.3.1.1.	Diseño de Variables .....	206
3.1.10.3.1.2.	Formulación de Indicadores .....	208
3.1.10.3.1.3.	Documentación del Modelo .....	210
3.1.10.3.1.3.1.	Estructura y componentes funcionales del modelo EVM-GEI .....	214
A.	Sección 1: Recursos Internos y Externos.....	215
B.	Sección 2: Emisiones de gases de efecto invernadero del proyecto .....	218
C.	Sección 3: Monitoreo y control del proyecto.....	222
D.	Sección 4: Gestión financiera del proyecto .....	223
E.	Sección 5: Project Charter (Visión Gerencial Consolidadora) .....	224
3.1.10.4.	Fase IV: Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio.....	228
3.1.10.5.	Validación de panel de Expertos.....	230
3.1.10.6.	Selección y preparación de los casos de estudio .....	233
3.1.10.6.1.	Caso de Estudio Propuesto: Estudio A .....	234
3.1.10.6.2.	Caso de Estudio Propuesto: Estudio B .....	238
3.1.10.7.	Aplicación y control cuantitativo .....	242
3.1.10.7.1.	Caso de Estudio Propuesto: Estudio A .....	242
3.1.10.7.1.1.	Planificación .....	243
3.1.10.7.1.2.	Ejecución y Seguimiento .....	247
3.1.10.7.1.3.	Cierre del proyecto .....	264
3.1.10.7.2.	Caso de Estudio Propuesto: Estudio B .....	265
3.1.10.7.3.	Planificación.....	266
3.1.10.7.4.	Ejecución y seguimiento .....	270
3.1.10.7.5.	Cierre del proyecto.....	289
3.1.10.8.	Análisis de resultados e implicaciones .....	290
3.1.10.8.1.	Resultados del Caso de Estudio A.....	291
3.1.10.8.2.	Resultados del Caso de Estudio B.....	292
3.1.10.8.3.	Análisis comparativo e implicaciones .....	292
3.1.10.8.4.	Implicaciones generales.....	293
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES .....		295

---

REFERENCIAS .....305

ANEXOS.....346

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Listado gases de efecto invernadero.....	57
<b>Tabla 2</b> Definiciones de los alcances GEI para inventarios de ciudades.....	58
<b>Tabla 3</b> Competencias de los gerentes de proyectos.....	67
<b>Tabla 4</b> Visión global de la sostenibilidad.....	82
<b>Tabla 5</b> Estándares de la gerencia de proyectos.....	86
<b>Tabla 6</b> Comparativo de estándares de la gerencia de proyectos.....	100
<b>Tabla 7</b> Desempeño con relación a la línea base de cronograma.....	106
<b>Tabla 8</b> Desempeño con relación a la línea base de costo.....	107
<b>Tabla 9</b> Puntos clave al determinar los métodos de medición del valor ganado.....	110
<b>Tabla 10</b> Técnicas de medición del valor ganado.....	111
<b>Tabla 11</b> Técnica de medición del porcentaje completado.....	112
<b>Tabla 12</b> Fórmulas para medir el desempeño del proyecto con valor ganado.....	115
<b>Tabla 13</b> Fórmulas para pronosticar el futuro del proyecto.....	116
<b>Tabla 14</b> Fórmulas índices de rendimiento a la conclusión.....	117
<b>Tabla 15</b> Pasos para implementar el modelo del valor ganado.....	118
<b>Tabla 16</b> Trazabilidad metodológica con base en los objetivos.....	144
<b>Tabla 17</b> Enfoque y tipo de Investigación.....	146
<b>Tabla 18</b> Matriz operacional de variables.....	147
<b>Tabla 19</b> Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad.....	150
<b>Tabla 20</b> Identificación de Factores Generadores de GEI.....	151
<b>Tabla 21</b> Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI.....	152
<b>Tabla 22</b> Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio.....	153
<b>Tabla 23</b> Matriz sintetizada para el marco referencial.....	157
<b>Tabla 24</b> Matriz de Respuestas de Encuesta.....	167
<b>Tabla 25</b> Constructos y valores clave.....	171

---

<b>Tabla 26</b> Análisis correlacional.....	172
<b>Tabla 27</b> Pruebas de diferencia y asociación .....	173
<b>Tabla 28</b> Modelo analítico de la fase final .....	174
<b>Tabla 29</b> <i>Componentes y Constructos Centrales del Modelo EVM-GEI</i> .....	175
<b>Tabla 30</b> Análisis Detallado de las Hipótesis del Modelo EVM-GEI.....	176
<b>Tabla 31</b> Análisis de correlación del instrumento de medición .....	180
<b>Tabla 32</b> Resultados de correlaciones de variables .....	182
<b>Tabla 33</b> Matriz de correlación de Spearman.....	183
<b>Tabla 34</b> Estructura: Primera dimensión modelo EVM-GEI .....	193
<b>Tabla 35</b> Estructura: Segunda dimensión modelo EVM-GEI .....	193
<b>Tabla 36</b> Estructura: Tercera dimensión modelo EVM-GEI .....	194
<b>Tabla 37</b> Métrica ambiental del modelo.....	196
<b>Tabla 38</b> Factores de emisión empleados para el modelo.....	198
<b>Tabla 39</b> Valores fundamentales del modelo.....	208
<b>Tabla 40</b> Núcleo del modelo EVM-GEI.....	211
<b>Tabla 41</b> Inputs del modelo .....	212
<b>Tabla 42</b> Outputs del modelo .....	213
<b>Tabla 43</b> Clasificación de Recursos .....	216
<b>Tabla 44</b> Cálculo de Consumo y Costo Energético .....	216
<b>Tabla 45</b> Costos administrativos asignados .....	217
<b>Tabla 46</b> Transporte urbano (personal).....	217
<b>Tabla 47</b> Transporte aéreo y servicios hoteleros.....	218
<b>Tabla 48</b> Mapeo de Categorías GEI Protocolo vs. ISO 14064-1.....	218
<b>Tabla 49</b> <i>Cálculo de Emisiones Basadas en la Ubicación</i> .....	219
<b>Tabla 50</b> <i>Métodos de Cuantificación para Emisiones de Alcance 3</i> .....	219
<b>Tabla 51</b> Valoración Monetaria del GEI (Futuros de Emisión).....	221

---

<b>Tabla 52</b> Estructura de Control de Actividades y Trazabilidad.....	222
<b>Tabla 53</b> <i>Definición y Acumulación de Métricas EVM (Curva S)</i> .....	222
<b>Tabla 54</b> Lógica del Burn-down Chart (Horas y Energía) .....	223
<b>Tabla 55</b> <i>Componentes de Costo Inicial e Integración GEI</i> .....	223
<b>Tabla 56</b> <i>Lógica de Flujo de Caja Libre (FCF) y Evaluación</i> .....	224
<b>Tabla 57</b> Comparativo Financiero y Capital (Plan vs. Ejecutado) .....	225
<b>Tabla 58</b> Recursos, servicios y riesgos .....	225
<b>Tabla 59</b> <i>Detalle y Consolidación de Emisiones GEI</i> .....	226
<b>Tabla 60</b> EVM Tridimensional: Costo y Cronograma.....	227
<b>Tabla 61</b> Principales indicadores de desempeño .....	227
<b>Tabla 62</b> Evaluación Coherencia, Operatividad y Cumplimiento EVM-GEI .....	231
<b>Tabla 63</b> Ficha de criterios de selección .....	234
<b>Tabla 64</b> Perfil consolidado del caso de estudio A .....	236
<b>Tabla 65</b> Establecimiento de Inputs caso estudio A .....	236
<b>Tabla 66</b> Cuantificación de GEI y LBDA.....	237
<b>Tabla 67</b> Perfil consolidado del caso de estudio B .....	239
<b>Tabla 68</b> <i>Establecimiento de Inputs caso estudio B</i> .....	240
<b>Tabla 69</b> Cuantificación de GEI y LBDA.....	241
<b>Tabla 70</b> Planificación financiera.....	246
<b>Tabla 71</b> Puntos de medición ambiental.....	252
<b>Tabla 72</b> <i>Distribución de emisiones por alcance</i> .....	252
<b>Tabla 73</b> Indicadores financieros del proyecto .....	254
<b>Tabla 74</b> Capital gastos .....	255
<b>Tabla 75</b> Análisis del valor ganado (CPI) .....	257
<b>Tabla 76</b> Análisis del valor ganado (SPI).....	259
<b>Tabla 77</b> Evaluación integrada del desempeño general del modelo EVM-GEI .....	261

---

<b>Tabla 78</b> Planificación financiera.....	269
<b>Tabla 79</b> Puntos de medición ambiental.....	275
<b>Tabla 80</b> <i>Distribución de emisiones por alcance</i> .....	275
<b>Tabla 81</b> Indicadores financieros del proyecto .....	277
<b>Tabla 82</b> Capital gastos .....	278
<b>Tabla 83</b> Análisis del valor ganado (CPI) .....	280
<b>Tabla 84</b> Evaluación integrada del desempeño general del modelo EVM-GEI .....	283
<b>Tabla 85</b> Puntos de medición ambiental.....	286
<b>Tabla 86</b> <i>Distribución de emisiones por alcance</i> .....	286
<b>Tabla 87</b> Evaluación integrada del desempeño general .....	287
<b>Tabla 88</b> Modelo instrumento de preguntas para el grupo focal. ....	346

---

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> Triángulo de desarrollo sostenible de Peter Nijkamp. ....	36
<b>Figura 2</b> Triple línea de la sostenibilidad.....	39
<b>Figura 3</b> Emisiones de GEI en términos absolutos.....	53
<b>Figura 4</b> Principales gases de efecto invernadero y su origen. ....	57
<b>Figura 5</b> Fuentes y límites de las emisiones de GEI en la ciudad .....	58
<b>Figura 6</b> Demanda mundial de energía: real frente a prevista.....	59
<b>Figura 7</b> Nivel de desempeño por competencia en la gestión de proyectos.....	68
<b>Figura 8</b> Dimensiones de la sostenibilidad organizacional. ....	83
<b>Figura 9</b> Detalle del impacto de sostenibilidad ambiental en la guía P5™. ....	85
<b>Figura 10</b> Principales Estándares Internacional de Gestión de Proyectos. ....	86
<b>Figura 11</b> Comparación Estándares Internacionales - Sostenibilidad Ambiental.....	102
<b>Figura 12</b> Integración de la línea base de medición del rendimiento.....	105
<b>Figura 13</b> Rendimiento indicadores del desempeño del cronograma.....	107
<b>Figura 14</b> Áreas de los indicadores del desempeño del costo. ....	108
<b>Figura 15</b> Análisis del valor ganado. ....	109
<b>Figura 16</b> Representación de técnicas de medición por porcentaje completado.....	113
<b>Figura 17</b> Flujo de caja libre proyectado .....	126
<b>Figura 18</b> Concepto hipótesis del Modelo Integrado EVM-GEI .....	129
<b>Figura 19</b> Análisis palabras clave. ....	130
<b>Figura 20</b> Diagrama de flujo metodológico.....	142
<b>Figura 21</b> Conceptual objetivos específicos de estudio doctoral .....	145
<b>Figura 22</b> Representación conceptual de los constructos del modelo EVM-GEI.....	171
<b>Figura 23</b> Constructos principales del modelo EVM-GEI .....	175
<b>Figura 24</b> Nivel de correlación entre variables de costo, cronograma y ambiente.....	181
<b>Figura 25</b> Integración de la línea base de medición del rendimiento.....	183

---

<b>Figura 26</b> Herramientas para la planificación y seguimiento .....	206
<b>Figura 27</b> Componentes del modelo .....	214
<b>Figura 28</b> Emisión de futuros de carbono .....	220
<b>Figura 29</b> Impacto GEI en el modelo EVM-GEI.....	251
<b>Figura 30</b> Comparativo de Desempeño y SPI bajo el modelo EVM-GEI .....	257
<b>Figura 31</b> Valor Ganado del proyecto con GEI.....	258
<b>Figura 32</b> Valor Ganado del proyecto solo GEI.....	259
<b>Figura 33</b> Valor Ganado SPI.....	260
<b>Figura 34</b> Comparativo del valor ganado modelo EVM-GEI.....	261
<b>Figura 35</b> Triangulación del modelo EVM-GEI .....	262
<b>Figura 36</b> Impacto GEI en el modelo EVM-GEI.....	274
<b>Figura 37</b> Valor ganado CPI proyecto con GEI .....	280
<b>Figura 38</b> Valor ganado CPI proyecto solo GEI .....	281
<b>Figura 39</b> Valor ganado SPI.....	281
<b>Figura 40</b> Triangulación del modelo EVM-GEI .....	288

---

## INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos ha adquirido un papel central en la sociedad empresarial, evolucionando a través de distintas fases y enfoques metodológicos que han permitido a las organizaciones cumplir con sus objetivos estratégicos, generando beneficios económicos tangibles. Tradicionalmente, la gestión de proyectos ha medido el retorno de inversión (ROI) mediante parámetros fundamentales como el costo, el tiempo y la calidad (Kloppenborg, T. J., Anantatmula, V. S., & Wells, K., 2020). Sin embargo, en el ámbito de los proyectos tecnológicos, la gerencia de proyectos se encuentra en una constante dinámica de cambio, con un enfoque en la optimización de costos, la eficiencia operativa y el aprovechamiento del talento humano (Crawford, L., Hobbs, B., & Turner, J. R., 2021). La digitalización de los procesos ha permitido mejorar la agilidad de los proyectos, lo que no solo optimiza el desempeño económico, sino que también favorece la adaptabilidad organizacional ante los desafíos emergentes (Project Management Institute (PMI), 2021)

A nivel global y nacional, la sostenibilidad ambiental ha emergido como un objetivo clave, impulsado por la creciente preocupación por el cambio climático. La gestión de proyectos tecnológicos juega un papel determinante, a través de una adecuada recopilación y análisis de información, es posible calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas durante las actividades de un proyecto, así como estimar los costos de mitigación asociados (Gareis, Huemann, & Martinuzzi, 2020). Esta integración de la sostenibilidad en la gestión de proyectos no solo contribuye a la transparencia, sino que también proporciona a los patrocinadores información crítica sobre el impacto ambiental antes de la aprobación del proyecto. Además, las emisiones de GEI pueden ser monitoreadas continuamente, estableciendo un control sobre el consumo de recursos naturales durante todo el ciclo de vida del proyecto (Chong, W. K., Tan, J. S., & Tan, K. C., 2020).

---

En este contexto, la presente tesis doctoral propone el desarrollo y validación de un modelo empírico para la gestión de proyectos tecnológicos: el modelo EVM-GEI. Este modelo combina las métricas tradicionales de control de desempeño, como el Earned Value Management (EVM), con el cálculo y monitoreo de las emisiones de GEI. El modelo EVM-GEI busca integrar los aspectos económicos con los ambientales, proporcionando a los gerentes de proyectos una herramienta que permita gestionar tanto los costos financieros como los derivados de las emisiones de GEI, lo que facilita información soporte para toma de decisiones más informada y alineada con la sostenibilidad. De esta manera, el modelo EVM-GEI ofrece un enfoque para la planificación, ejecución y control de proyectos tecnológicos, promoviendo una gestión más integral y responsable.

El modelo EVM-GEI representa un avance en el aporte del conocimiento en la gestión de proyectos tecnológicos, el enfoque identifica las brechas en la medición y control de las emisiones de GEI dentro de las prácticas tradicionales de gestión de proyectos, lo que posibilita la creación de un sistema de control que equilibra las demandas de eficiencia económica con las necesidades de responsabilidad ambiental. En línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015), el modelo EVM-GEI tiene el potencial de mejorar la trazabilidad y la toma de decisiones en proyectos tecnológicos, contribuyendo a la mitigación de los impactos ambientales y favoreciendo el desarrollo de una economía más responsable y sostenible.

---

## **ESTRUCTURA DE LA TESIS DOCTORAL**

La estructura de esta tesis doctoral se organiza en tres enfoques principales: la fundamentación teórica y metodológica, que justifica el desarrollo del modelo EVM-GEI; el marco teórico, que contextualiza la investigación en términos de sostenibilidad y gestión de proyectos; y el diseño metodológico, que detalla el enfoque mixto y las fases para formular y aplicar el modelo EVM-GEI como caso de estudio, basado en la gestión del valor ganado, para controlar el desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a la línea base establecida en proyectos tecnológicos.

### **Fundamentación y Estructura de la Investigación**

Este capítulo presenta los fundamentos conceptuales y metodológicos que sustentan el desarrollo del Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero (EVM-GEI). Se identifica una brecha crítica en la gestión de proyectos tecnológicos: la falta de integración sistemática de las emisiones de GEI y los costos asociados a su compensación en los procesos tradicionales de planificación y control. A partir de esta brecha, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo que combine la eficiencia financiera con la sostenibilidad ambiental, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015).

En este capítulo se detallan los objetivos de la investigación, la justificación y la formulación del modelo EVM-GEI, que extiende el enfoque tradicional de Earned Value Management (EVM) incorporando la cuantificación y monetización de las emisiones de GEI a través del Precio Sombra del Carbono (SPC). También se presenta un marco metodológico basado en el Greenhouse (Greenhouse Gas Protocol, 2023) para evaluar las emisiones en proyectos tecnológicos, asegurando la coherencia del modelo en términos técnicos y prácticos.

---

## **Marco Teórico**

El capítulo establece una base teórica que conecta la sostenibilidad, el cambio climático y la gestión de proyectos tecnológicos. Se abordan conceptos clave como desarrollo sostenible, emisiones de GEI y la técnica EVM, resaltando la importancia de integrar la dimensión ambiental en los proyectos. Se exploran hitos históricos en gerencia de proyectos y el modelo del triple bottom line, además de las normativas internacionales, como la ISO 14064-1:2018, que facilitan la medición de emisiones. En el contexto colombiano, se analizan los avances en sostenibilidad y el alineamiento con los ODS, destacando la necesidad de una mayor integración de la sostenibilidad en la gestión de proyectos tecnológicos.

## **Diseño Metodológico**

El capítulo describe el análisis bibliométrico y cuantitativo realizado sobre sostenibilidad en proyectos tecnológicos, con el objetivo de fundamentar teóricamente el Modelo Integrado EVM-GEI. Se emplea un enfoque metodológico mixto, que combina análisis cuantitativos y cualitativos, apoyado por herramientas como Escopus, VOSviewer y Bibliometrix para examinar la literatura científica entre 2015 y 2025. Los resultados revelan un creciente interés en la integración de la sostenibilidad con el EVM, destacando la relevancia de la gestión ambiental en los proyectos tecnológicos.

El estudio identifica una brecha en América Latina respecto a la adopción de modelos integrados de control ambiental en proyectos tecnológicos, lo que subraya la necesidad del modelo EVM-GEI en el contexto colombiano. La estructura metodológica se divide en cuatro fases clave:

1. **Fundamentación teórica:** Revisión del estado del arte y los marcos conceptuales sobre sostenibilidad y gestión de proyectos tecnológicos.
  2. **Identificación de factores generadores de GEI:** Identificación de las fuentes de emisiones de GEI dentro de los proyectos tecnológicos.
-

3. **Formulación del modelo EVM-GEI:** Desarrollo de un modelo que integra las métricas de valor ganado con el cálculo y control de emisiones de GEI.
4. **Validación empírica:** Aplicación (caso de uso) del modelo en proyectos reales, utilizando métodos como el Delphi y pruebas empíricas para evaluar su efectividad.

Estas fases aseguran que el modelo EVM-GEI sea relevante, viable y alineado con las exigencias globales de sostenibilidad, contribuyendo al fortalecimiento de la gobernanza y la eficiencia en la gestión de proyectos tecnológicos en Colombia.

---

## 1. FUNDAMENTACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Contextualización del Estudio

La gerencia de proyectos en el sector tecnológico opera en un entorno de innovación acelerada y gran presión competitiva, donde tradicionalmente la entrega de valor se mide principalmente mediante el estricto control de costo, tiempo y alcance. Sin embargo, la reciente agenda global de sostenibilidad, respaldada por los Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015) y las Naciones Unidas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), obliga a replantear los criterios de éxito de los proyectos para incorporar también el desempeño ambiental. A pesar de la existencia de marcos legales en países como Colombia y un creciente compromiso empresarial, persiste un vacío metodológico: la práctica gerencial rara vez integra de forma sistemática la huella de carbono (GEI) y el costo asociado a su compensación en la planificación y control del proyecto. Esta desconexión limita a los gestores de proyectos tecnológicos la capacidad de cuantificar el “precio oculto” de las emisiones y, por tanto, reduce su aptitud para tomar decisiones verdaderamente informadas, transparentes y coherentes con la responsabilidad climática (Suvvari, S. K. & Sawalkar, R., 2024).

Ante esta problemática, se justifica la imperante necesidad de desarrollar un modelo que armonice la eficiencia financiera con la responsabilidad ambiental. El presente estudio se propone responder a la pregunta central de investigación: ¿Cómo diseñar un modelo de control del desempeño, basado en los lineamientos de la gestión de proyectos y el enfoque del Valor Ganado, que fortalezca la gestión de proyectos tecnológicos, integrando criterios de sostenibilidad ambiental mediante la identificación, medición y control de GEI y considerando los factores que propician la implementación de estrategias para el seguimiento del cambio climático y su impacto en el presupuesto, como apoyo a la toma de decisiones empresariales por parte de los gerentes de proyectos?. Este planteamiento se apoya en desarrollos recientes que han trasladado el sistema EVM hacia entornos sostenibles, como el modelo Modeling

---

Sustainable EVM (Fan, Mohseni Nejad, Bagherpour, Feylizadeh, & Karimi, 2025) o el sistema automatizado que integra BIM y EVM para monitorear carbono en proyectos de construcción (Zhang, X. & Zhang, X., 2023). Para abordar este desafío, el objetivo general de la investigación consiste en diseñar un modelo para controlar el desempeño asociado a las emisiones de GEI mediante una extensión de la gestión del Valor Ganado, permitiendo gestionar las desviaciones frente a una línea base ambiental en proyectos de tecnología.

En este capítulo se desarrollan los elementos fundamentales que sustentan la investigación, incluyendo el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, las preguntas de investigación y la justificación del estudio. Estos componentes estructuran el marco conceptual y metodológico que orienta el desarrollo del Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero (EVM-GEI), garantizando la coherencia entre la fundamentación teórica, la metodología aplicada y los resultados esperados. Una formulación clara del problema y de los objetivos de investigación constituye la base para la validez científica, la rigurosidad metodológica y la relevancia práctica del conocimiento generado (Saunders, Lewis, P., & Thornhill, A., 2023).

## **1.2. Planteamiento del problema**

En el sector tecnológico, la rápida evolución de áreas como la microelectrónica, inteligencia artificial, redes 5G+, ciberseguridad, agro/food tech, industria 4.0, salud digital, sistemas aeroespaciales y vehículos conectados, impulsa el desarrollo ágil de proyectos. Estos proyectos buscan entregar productos mínimos viables (MVP) en plazos cada vez más cortos, respondiendo a la demanda de innovación constante y adaptándose a un mercado altamente competitivo. La disponibilidad de información en tiempo real facilita la toma de decisiones y la gestión eficiente, consolidando a la tecnología como un motor fundamental del crecimiento global.

---

En la gerencia de proyectos, cada vez son más demandados los perfiles que administren las metodologías y enfoquen su experiencia en la calidad, tiempo y costo con base en el proyecto planteado, sin embargo, al ejecutar estos proyectos no se contempla el impacto en la generación de la huella de carbono y el costo asociado que se generaría por la compensación. En 2015, todos los estados miembros de las naciones unidas aprobaron 17 objetivos como parte de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los objetivos en 15 años (Organización de las Naciones Unidas, 2020), los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En el marco de la agenda ambiental global, ha surgido una creciente conciencia por parte de las empresas sobre el impacto que sus actividades generan en el medio ambiente, especialmente a través de los proyectos que ejecutan como parte de su dinámica operativa. No obstante, en la práctica de la gerencia de proyectos, el enfoque continúa centrado principalmente en el control de variables tradicionales como el costo, el tiempo, la calidad y el alcance, sin considerar de manera sistemática el impacto ambiental derivado de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este vacío se refleja en la ausencia de criterios de medición y compensación de emisiones dentro de las tareas definidas en la estructura de desglose del trabajo (EDT), la cual actúa como línea base para la ejecución del proyecto dentro del entorno empresarial.

El gobierno nacional colombiano, a través del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022) indica que: El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), tiene por objeto estabilizar las concentraciones de efecto invernadero en la atmósfera para la lucha contra el cambio climático. El convenio fue ratificado por Colombia mediante la ley 164 de 1994 y entró en vigor en marzo de 1994, su participación en las distintas instancias como la Conferencia de las Partes (COP) y el acuerdo de París, entre los que se destacan los resultados en la revisión del

---

mecanismo internacional de Varsovia sobre pérdidas y daños y el establecimiento de la red de Santiago para evitar, minimizar y abordar las pérdidas y daños asociados con los efectos adversos del cambio climático.

Durante los últimos veinte años, se ha generado especial atención pública al crecimiento del fenómeno del calentamiento global y el cambio climático dentro del entorno empresarial, lo cual se vuelve relevante para las compañías en las estrategias de sostenibilidad como factor de competitividad global en el desarrollo económico, social y ambiental. Las empresas de bienes y servicios, han desarrollado acciones enmarcadas dentro del pilar de gobernanza como punto fundamental de la sostenibilidad, se detallan los principios empresariales que la determinan como una entidad diferenciadora en un mercado cada vez más competitivo y demandante por los consumidores afines con las prácticas de sostenibilidad, buscando una transformación empresarial bajo modelos de arquitectura empresarial para la optimización y automatización de los procesos en el desarrollo de las actividades alineadas a su objeto social.

De acuerdo con lo indicado por el Project Management Institute (PMI®) la creciente presión competitiva y la tendencia a aplicar técnicas modernas de gestión, ha hecho replantear a las organizaciones en desarrollar proyectos con un alto grado de responsabilidad sostenible (Project Management Institute (PMI), 2021). Es así como la gestión de proyectos toma mayor relevancia dentro de la organización, debido a que en una orquestación de recursos se define el proceso de cómo llevar a cabo la aplicación de conocimientos, técnicas, herramientas y habilidades a las tareas de los proyectos a fin de conseguir cumplir los objetivos, mediante la adaptación, aplicación e integración de los procesos de dirección de proyectos adecuados para ejecutarlos de manera eficiente y eficaz tanto en las métricas de medición de EVM no solo de costo, tiempo y alcance, si no de ahora de medir el impacto ambiental con ocasión al proyecto.

Dentro de las etapas de planificación del proyecto, los gerentes de proyectos detallan el ciclo de vida del proyecto con el fin de determinar los costos asociados al mismo y así

---

plasmarlos en un informe ejecutivo como la carta de proyecto, con el fin de presentarlo al patrocinador y partes interesadas del proyecto para la aprobación de recursos financieros y así poder lograr una posterior ejecución. La gestión de costos del proyecto, de acuerdo con la metodología del PMI®, en el proceso de planeación el gerente de proyecto estima la línea base del presupuesto evaluando el alcance, cálculo por actividades, fechas, recursos y contingencias, para ser aprobado por el patrocinador e interesados claves del proyecto. En el control del costo en la línea base del presupuesto se mide que la ejecución se encuentre en los límites bases supervisando el grado de ejecución del presupuesto y los cambios en la línea base del rendimiento de los costos, utilizando la herramienta EVM la cual integra las mediciones de alcance, costo y cronograma, lo cual permite a su vez estimar la proyección de los costos.

Como parte de la gestión de proyectos, por lo general, se estima el costo del proyecto basado en las actividades, recursos, tiempos y contingencias empresariales por las cuales se originó el proyecto, el cual pretende, en la mayoría de las veces digitalizar los procesos como parte de la arquitectura empresarial de la organización como aporte a la sostenibilidad. Sin embargo, desde la gerencia de los proyectos, se incluye un papel significativo en la economía global con una contribución al cambio climático global, evaluar cómo planificar, controlar la emisión de los GEI y cómo se proyecta la compensación a priori. Se requiere integrar e incorporar el impacto de la emisión de GEI en la planificación, ejecución y el control de proyectos y para abordar la preocupación nacional e internacional sobre el cambio climático, la sostenibilidad y la reducción de los impactos ambientales, la emisión de GEI y la compensación de estos, puede considerarse como un costo no calculado estimado como precio oculto tanto en la planificación como en el seguimiento del proyecto. Los índices de rendimiento y la fórmula de pronóstico se desarrollan con base a la lógica detrás de la EVM con relación a la estimación del precio oculto de los costos del proyecto.

---

La evolución del rol de la profesión de dirección de proyectos nunca ha sido más importante. Para lograr la sostenibilidad como planeta, se debe desarrollar la capacidad para poder ir más allá del desarrollo sostenible y remediar los problemas que los humanos han causado al planeta mientras progresa. Con los desafíos que enfrenta la humanidad, ya sean conflictos geopolíticos, cambio climático, pobreza extrema, escasez de recursos, esclavitud o desigualdad en todas sus formas, la profesión de dirección de proyectos debe jugar un papel más importante, focalizada en cómo gestionar proyectos de forma sostenible (Duncan, C., 2018).

El Green Project Management® (GPM), define un proyecto como una inversión que requiere un conjunto de actividades coordinadas llevadas a cabo durante un período finito de tiempo con el fin de lograr un producto único en apoyo de un resultado deseado. Para que un proyecto sea sostenible se adherirá a cinco principios: personas, el planeta, el beneficio, el proceso y el producto. Adicionalmente a los requerimientos y las restricciones, se deben incluir la mitigación de los impactos ambientales, sociales, económicos negativos y el logro de los beneficios descritos en el caso de negocio (Green Project Management, 2019).

Actualmente, en la ejecución de proyectos tecnológicos no se contempla de manera sistemática el impacto ambiental relacionado con la generación de la huella de carbono ni el costo asociado a su compensación, lo que genera un vacío en la planificación y control integral de dichos proyectos. Esta omisión evidencia una desconexión entre la gestión tradicional de proyectos centrada en tiempo, costo y alcance, y la sostenibilidad ambiental como eje transversal de la gerencia moderna. Aunque se reconoce la importancia de herramientas como el Valor Ganado (EVM) y las metodologías de Gerencia de Proyectos Sostenibles (GPM), no se ha logrado dimensionar claramente el problema derivado de la falta de integración entre el desempeño del proyecto y las emisiones de GEI. Esta situación podría limitar la capacidad de las organizaciones para anticipar impactos ambientales y tomar decisiones estratégicas basadas en datos sostenibles, lo cual justifica la necesidad de diseñar un modelo específico

---

que permita medir, gestionar y reducir las emisiones de GEI en el marco de la gestión de proyectos tecnológicos.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

La investigación propuso los objetivos que se presentan a continuación y que fueron desarrollados a cabalidad. Estos objetivos guían el estudio hacia la integración de la sostenibilidad en la gestión de proyectos tecnológicos, específicamente en la medición y control de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un modelo para controlar el desempeño asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la aplicación de la gestión del valor ganado, que permita gestionar las desviaciones respecto a la línea base de los proyectos de tecnología gestionados por la gerencia de proyectos en Colombia.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar los fundamentos teóricos y metodológicos de la gestión del valor ganado, así como las habilidades y prácticas de los gerentes de proyectos en la planificación y estimación de proyectos, para evaluar su aplicabilidad en el control del desempeño asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero.
  - Identificar los factores generadores de emisiones de gases de efecto invernadero asociados a las actividades estimadas de los proyectos tecnológicos gestionados por los gerentes de proyectos.
  - Formular un modelo integrado que combine la gestión de costos, el control del desempeño y la medición de emisiones de gases de efecto invernadero, articulado con
-

las métricas de la gestión del valor ganado para el seguimiento de las actividades estimadas en proyectos tecnológicos.

- Diseñar, validar y aplicar como caso de estudio un modelo basado en la gestión del valor ganado para controlar el desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a la línea base establecida en proyectos tecnológicos.

#### **1.4. Preguntas de investigación**

- ¿Cómo diseñar un modelo de control del desempeño, basado en los lineamientos de la gestión de proyectos y el enfoque del Valor Ganado, que fortalezca la gestión de proyectos tecnológicos, integrando criterios de sostenibilidad ambiental mediante la identificación, medición y control de GEI y considerando los factores que propician la implementación de estrategias para el seguimiento del cambio climático y su impacto en el presupuesto, como apoyo a la toma de decisiones empresariales por parte de los gerentes de proyectos?
- ¿Cómo desarrollar e implementar un modelo de control del desempeño, basado en los lineamientos de la gestión de proyectos y el enfoque del Valor Ganado, que fortalezca la gestión de proyectos tecnológicos integrando criterios de sostenibilidad ambiental mediante la identificación, medición y control de GEI, y considerando su impacto en el presupuesto?

#### **1.5. Justificación**

El cálculo de los GEI en especial la huella de carbono permite obtener un índice de medición del grado de impacto de una actividad sobre el medio ambiente. De esta manera se puede emplear como referencia para la toma de decisiones y priorización de oportunidades de reducción de emisiones permitiendo una gestión más eficiente. La compensación de la huella de carbono consiste en neutralizar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que emite una persona,

---

empresa, organización, producto o servicio cuando se desarrolla una actividad, invirtiendo económicamente en un proyecto ambiental.

Existen opciones para compensar esa huella de carbono generada y contribuir a la lucha contra el cambio climático y el calentamiento global: los bonos de carbono y futuros de carbono son herramientas internacionales para lograr este objetivo, ya que permiten financiar un proyecto que desarrolla actividades para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera mientras generan impactos sociales positivos. Un bono de carbono representa la reducción de una tonelada de CO<sub>2</sub> o su equivalente de GEI. Como cálculo realizado para la compensación de la huella de carbono se indica que un bono de carbono equivale a la compensación de una tonelada de CO<sub>2</sub> que el proyecto ha liberado a la atmósfera, por tal motivo se calcula el impuesto nacional al carbono por bono de carbono para compensar (Ente Nacional para la Energía Eléctrica (ENEL), 2021).

De acuerdo con lo expuesto en la guía de PM<sup>2</sup>, la gestión del valor ganado es una técnica utilizada para supervisar y controlar el desempeño de los proyectos, proporcionando una visión objetiva del desempeño basada en las finanzas del proyecto. Algunos indicadores reflejan los progresos realizados hasta la fecha o las desviaciones del plan desde el punto de vista del coste o del valor del trabajo, mientras que otros indicadores se centran en la previsión de la desviación total del presupuesto o en los niveles de productividad necesarios para completar el proyecto en el plazo previsto (Comisión Europea, 2021), la globalización e internacionalización aumenta la presión competitiva sobre las empresas, lo que les exige implementar proyectos que pueden ser críticos para su desarrollo e incluso para su supervivencia (Raymond, L. & Bergeron, F., 2015).

Ahora bien, como factor diferenciador de sostenibilidad las empresas buscan el enfoque para ser más responsables con el medio ambiente cumplimiento con estándares, guías, normativas para el cumplimiento de su gestión como responsables de la economía en un mundo cada vez más globalizado, sin embargo en el estudio de la literatura se evidencian

---

directrices y cuestionarios sobre el nivel de cumplimiento de indicadores de percepción sobre si se mide o no el factor de sostenibilidad ambiental enfocado a la generación de GEI, más no se evidencia en la literatura modelos que permitan calcular y medir la generación del impacto ambiental, por lo anterior se pretende desarrollar un modelo basado en la herramienta de valor ganado para la medición de los gases de efecto invernadero generados por los proyectos de tecnología incluyendo el cálculo del GEI por actividades y por el producto objeto del proyecto con el fin que sea una herramienta que represente datos como fuente de consulta para la toma de decisiones en cuanto a la ejecución de proyectos en el aspecto económico y ambiental en términos de control del desempeño del GEI para los gerentes de proyecto de tecnología.

Ahora bien, como factor de sostenibilidad empresarial la medición a través de herramientas como EVM para la emisión y compensación de los GEI se verá impactada en el presupuesto del proyecto como factor de decisión a mayor relevancia para la gestión de los gerentes de proyectos de tecnología.

## **1.6. Resultados esperados en la investigación**

En el marco de esta investigación doctoral, se define una estructura jerárquica de resultados que asegura la progresión del conocimiento y la validación de la hipótesis central. La delimitación de estos niveles garantiza que la contribución final sea significativa y se alinee con los estándares académicos, culminando en el desarrollo y la validación de una herramienta metodológica innovadora.

- **Nivel de Investigación Principal: El Modelo EVM-GEI**

El principal resultado y aporte original de esta tesis doctoral es el diseño, formulación y validación empírica del Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI. Este modelo constituye una herramienta metodológica pionera que vincula de forma objetiva el desempeño técnico-financiero de los proyectos con su impacto ambiental medido en emisiones de GEI. A través de la integración de las métricas

---

tradicionales del Earned Value Management (EVM), el Índice de Desempeño de Costo (CPI) y el Índice de Desempeño de Cronograma (SPI), con la monetización de emisiones mediante el Precio Sombra del Carbono (SPC), el modelo propone una extensión teórica del EVM hacia una gestión de proyectos alineada con los principios de sostenibilidad y responsabilidad climática. En términos prácticos, el modelo EVM-GEI permite a los gestores de proyectos tecnológicos incorporar la externalidad ambiental como una variable cuantificable dentro del flujo de valor, favoreciendo decisiones más informadas, transparentes y coherentes con los objetivos de descarbonización y finanzas sostenibles promovidos por el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015).

- **Nivel de Investigación Secundaria: Base Metodológica y Cuantificación Técnica**

Como resultado complementario, esta investigación desarrolla la base metodológica y técnica que sustenta la operatividad del modelo EVM-GEI. Dicha base se construye a partir de un análisis exhaustivo de las variables de emisión asociadas a cada actividad, proceso y recurso del ciclo de vida del proyecto tecnológico, incluyendo horas de consultoría, consumo energético, infraestructura en la nube (Cloud) y desplazamientos. Este procedimiento metodológico se orienta hacia la cuantificación precisa de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), conforme a los lineamientos del Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2023), asegurando la identificación y clasificación sistemática de las fuentes bajo los Alcances 1, 2 y 3. La aplicación de esta estructura permite determinar con solidez la Línea Base de las Emisiones (LBDA), que actúa como referencia para la medición y monetización del impacto ambiental del proyecto. En consecuencia, este análisis técnico constituye un insumo fundamental que garantiza la trazabilidad, consistencia y comparabilidad internacional de los resultados financieros y ambientales del modelo EVM-GEI, alineándolo con las mejores prácticas de gestión sostenible reconocidas a nivel global.

---

- **Nivel de Investigación Terciaria: Validación Empírica y Contextualización**

El resultado terciario de esta investigación se centra en la validación empírica y la contextualización práctica del modelo EVM-GEI en entornos reales de gestión de proyectos tecnológicos. Para ello, se aplicó una estrategia de investigación cualitativa sustentada en la realización de grupos focales y entrevistas en profundidad con expertos en gerencia de proyectos, orientada a contrastar la estructura teórica del modelo con las prácticas organizacionales vigentes. Este proceso de validación permitió identificar brechas y oportunidades en la medición y gestión de emisiones de GEI, así como las limitaciones de los enfoques tradicionales de control de proyectos frente a los nuevos requerimientos de sostenibilidad corporativa. Los hallazgos derivados de esta interacción experta confirmaron la pertinencia, aplicabilidad y coherencia estructural del EVM-GEI con las dinámicas reales del entorno empresarial, asegurando su utilidad práctica como instrumento de apoyo a la toma de decisiones financieras y ambientales. En consecuencia, este resultado consolida la transferencia efectiva del conocimiento teórico a la práctica gerencial, fortaleciendo la validez científica y el impacto operativo del modelo propuesto en el ámbito de la gestión sostenible de proyectos tecnológicos.

En síntesis, los resultados obtenidos consolidan al Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero (EVM-GEI) como una contribución original al campo de la gestión sostenible de proyectos tecnológicos. Su desarrollo articuló de manera coherente tres niveles de investigación: el conceptual, que redefine el marco del Earned Value Management al incorporar la monetización del impacto ambiental; el metodológico, que aporta una base técnica rigurosa para la cuantificación de emisiones conforme al GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2023) y a los estándares internacionales de sostenibilidad; y el empírico, que valida su pertinencia y aplicabilidad en contextos organizacionales reales. De este modo, el modelo no solo amplía las fronteras teóricas del control del valor ganado, sino que también ofrece una herramienta práctica para la toma de

---

decisiones integradas, donde el desempeño económico y el desempeño ambiental convergen en un mismo sistema de medición. En conjunto, el modelo EVM-GEI constituye un avance significativo hacia la institucionalización de finanzas climáticas y gestión de proyectos bajos en carbono, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos del Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015) y abriendo nuevas líneas de investigación orientadas a la integración de métricas ambientales en los sistemas de gestión del valor organizacional.

---

## 2. MARCO TEÓRICO

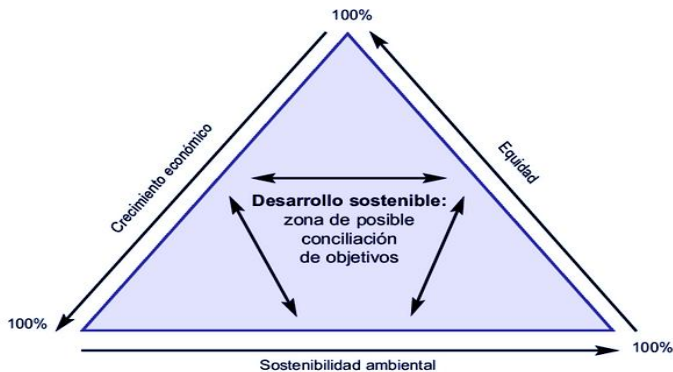
### 2.1. Contextualización

En el presente capítulo se definieron los conceptos de análisis de los gases de efecto invernadero (GEI), desarrollo sostenible, técnica del valor ganado (EVM) y la gestión de proyectos de tecnología, como un marco general que posibilite abordar las teorías avanzadas de gestión y su interrelación con la sostenibilidad ambiental. Con el fin de entregar un entendimiento en la interpretación de esta investigación, este análisis como marco teórico se dividirá en dos partes: desarrollo sostenible y gerencia de proyectos de tecnología.

### 2.2. Desarrollo Sostenible

En torno a la definición de sostenibilidad desde la década de 1960 comienza a hacerse visibles en diferentes grupos las preocupaciones por el estado del medio ambiente, sin embargo, es hasta el año 1987 cuando en el informe Brundtland, llamado “Nuestro Futuro Común” realizado por las Naciones Unidas, aclara que “está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987); posteriormente, en abril de 1990, durante la Conferencia Anual sobre Desarrollo Económico organizada por el Banco Mundial, el economista holandés Peter Nijkamp, presento la obra titulada “*Regional Sustainable Development and Natural Resources Use*”. En este trabajo se plantea la relación entre crecimiento económico, equidad social y la sustentabilidad ambiental, tema central de la presente investigación, elementos que conforman el denominado “triángulo de Nijkamp”, ver figura 1, según este enfoque el desarrollo sustentable solo puede lograrse cuando estos tres factores se encuentran alineados en armonía (Nijkamp, 1990).

---

**Figura 1** Triángulo de desarrollo sostenible de Peter Nijkamp.

*Nota:* Tomado del artículo Regional Sustainable Development and Natural Resources Use. Fuente: (Nijkamp, 1990).

Dentro de la generación de nuevas formas de consumo con el objetivo de crecer la economía de una manera exponencial, la sociedad ha pasado por encima de los recursos naturales ofrecidos por la tierra dejando de lado el tema correspondiente a los consumos responsables. De acuerdo con lo expuesto por el Pacto Global Colombia, el 25 de septiembre de 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la hoja de ruta que adhirieron 193 países para construir un mundo más equitativo y mejorar la calidad de vida de todos sin excepción. La agenda contempla 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) asociados a 169 metas que buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad en los próximos 15 años (Pacto Global Colombia, 2020).

### 2.3. Acuerdo de París

El Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015) representa el marco jurídico y normativo central para la acción climática internacional, sucediendo al Protocolo de Kioto y operando bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Su meta definida es mantener el aumento de la temperatura media global muy por debajo de 2 °C

respecto al periodo preindustrial, con esfuerzos para acotar dicho incremento a 1,5 °C (Jiang, 2015). Un pilar esencial de este mecanismo son las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs), mediante las cuales cada país voluntariamente fija objetivos de reducción de emisiones y debe revisarlos cada cinco años con ambiciones crecientes (UNFCCC, 2015). En el contexto de gestión ambiental en proyectos, este enfoque trasciende lo regulatorio: impone que las decisiones estratégicas, modelos financieros y de producción, así como los métodos de control que estén alineados con los objetivos climáticos globales. En consecuencia, la mitigación deja de ser solo una cuestión ambiental y se convierte en un componente estructural de la gobernanza corporativa y del diseño metodológico de proyectos sostenibles.

El Acuerdo de París no se limita únicamente a la mitigación de emisiones, sino que consagra los pilares de adaptación, financiación climática y un marco de transparencia reforzada. En particular, establece mecanismos para movilizar fondos climáticos que faciliten a los países en desarrollo la implementación de sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), y exige un esquema de reporte comprensible y comparable para verificar progresos nacionales (Ferreira, 2018). Conceptualmente, el Acuerdo define como meta una trayectoria que alcance el pico global de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) lo antes posible, seguida por reducciones aceleradas que permitan lograr un equilibrio entre emisiones y absorciones antropogénicas —también conocido como “neutralidad de carbono” o net zero— en la segunda mitad del siglo (Li, Y., Zhang, X, & Chen, P., 2024). Ese objetivo último legitima la necesidad de incorporar métricas de GEI en la planificación y control de proyectos de inversión, de modo que el desempeño ambiental deje de ser un adorno y pase a formar parte integral del modelo de gobernanza y evaluación metodológica (Kenyon, Berrahoui, & Macrina, 2022).

---

## **2.4. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero**

El GHG Protocol (Protocolo de Gases de Efecto Invernadero) se ha consolidado como el estándar internacional más adoptado para la contabilidad y reporte de emisiones en organizaciones y proyectos. Su relevancia teórica radica en ofrecer un marco universal que integra los conceptos de Alcance 1, 2 y 3, categorizando las emisiones según el grado de control operativo o influencia de la entidad (Jia, J., Axelsson, K., Chaudhury, A, & Taylor, E., 2023). Además de proporcionar metodologías robustas para calcular la huella total (inventario corporativo), el protocolo fundamenta sus lineamientos en los principios de relevancia, integridad, consistencia, transparencia y exactitud, lo que permite comparabilidad entre empresas y sectores (Greenhouse Gas Protocol Integration, 2024). Esta estandarización es fundamental para que normas como ISO 14064 puedan adoptarse con coherencia metodológica y para que herramientas de gestión sostenible puedan incorporar mediciones de emisiones con trazabilidad, confiabilidad y reconocimiento internacional.

En el ámbito de la gestión de proyectos y la contabilidad ambiental avanzada, el GHG Protocol es una referencia esencial debido a su énfasis en el Scope 3 (emisiones indirectas de la cadena de valor), considerado el componente más complejo y determinante del inventario corporativo de gases de efecto invernadero (Zhang, X. & Zhang, X., 2023). Este alcance incluye las emisiones asociadas con los viajes de negocios, la movilidad de empleados y las inversiones de capital (CAPEX), lo que obliga a las organizaciones a ampliar su perspectiva más allá de las operaciones directas e incorporar los impactos ambientales derivados de toda su cadena de suministro. La clasificación tripartita de alcances establecida por el protocolo ofrece una arquitectura metodológica que permite segmentar, cuantificar y valorar económicamente las emisiones del proyecto, facilitando la integración con herramientas de control de desempeño. De este modo, al vincular las fuentes específicas de GEI a las actividades del proyecto, el protocolo garantiza que la Línea Base de Desempeño Ambiental

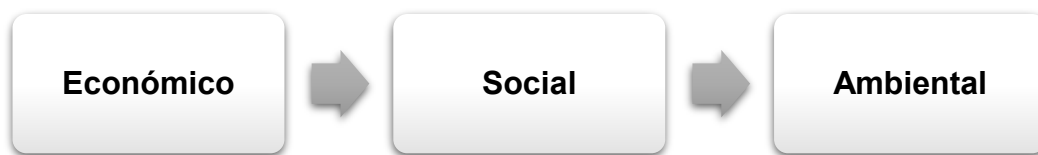
---

(LBDA) y los costos ambientales reales mantengan coherencia y comparabilidad con los estándares internacionales de reporte climático (Greenhouse Gas Protocol Integration, 2024).

#### 2.4.1. Criterios de gobierno, ambiental, social y corporativo.

El desarrollo empresarial está directamente relacionado con el desarrollo económico y el desarrollo social. En una economía globalizada, la empresa se convierte en el dinamizador de la industria, interactuando con el ecosistema y el territorio, con el objetivo de contribuir al bienestar general. En cada etapa de su evolución, la empresa puede verse impactada en mayor o menor medida por factores vinculados a su operación y proyectos. De acuerdo con lo expuesto por Elkington el desarrollo empresarial se evalúa en tres dimensiones básicas, conocidas en inglés como *triple bottom line* (Elkington, 1997). Este esquema conceptual, también llamado “cuenta del triple resultado”, ver figura 2, permite enmarcar el conjunto del desempeño y la orientación que deberían ser comunes a toda empresa en cuanto al valor que generan en los ámbitos económico, social y ambiental.

**Figura 2** Triple línea de la sostenibilidad.



*Nota:* Adaptado de la guía de criterios sostenibles. Fuente: (Elkington, 1997).

La reputación corporativa es el activo más valioso de las empresas, ya que puede posicionarlas para obtener una ventaja competitiva sostenible. Las empresas con una buena reputación disfrutan de una posición privilegiada en el mercado, pues tienen un mejor acceso a recursos en condiciones más favorables (Ghuslan, 2021). Los informes ambientales y sociales corporativos contribuyen a construir una buena reputación y también pueden usarse como un mecanismo para proyectar una imagen positiva ante las partes interesadas. Numerosas

---

evidencias demuestran que las empresas gestionan los riesgos reputacionales mediante la provisión de estos informes. Además, diversos estudios han mostrado que las empresas se benefician de la participación en informes ambientales y sociales, no solo al obtener una percepción favorable por parte de los consumidores, actitudes positivas y un sentido de apego, sino también al fortalecer su imagen corporativa a largo plazo (Ghuslan, 2021).

La reputación corporativa es uno de los activos más valiosos para las empresas, ya que les permite posicionarse y obtener una ventaja competitiva sostenible. Las organizaciones con buena reputación disfrutan de una posición privilegiada en el mercado, ya que acceden a recursos en condiciones más favorables (Smith, Rupp, & Motley, 2013). Los informes ambientales y sociales corporativos contribuyen a construir una buena reputación y funcionan como un mecanismo para proyectar una imagen positiva ante las partes interesadas.

Numerosas evidencias indican que las empresas gestionan los riesgos reputacionales mediante la elaboración de estos informes. Además, diversos estudios han demostrado que la participación en informes ambientales y sociales beneficia a las empresas, no solo al generar una percepción favorable entre los consumidores, actitudes positivas y un sentido de apego, sino también al fortalecer su imagen corporativa a largo plazo (Smith, Rupp, & Motley, 2013).

El plano económico de la empresa tiene como objetivo fundamental generar resultados financieros positivos para sus integrantes de la manera más eficiente posible. Este aspecto es un elemento esencial e intrínseco a toda empresa, ya que, según Chiavenato (Chiavenato, 2020), la empresa no solo busca beneficios económicos, sino que también contribuye al ámbito interno mediante la creación de empleo y el pago de salarios, así como al ámbito externo al atraer nuevas inversiones de capital.

El plano social de la empresa surge como un fenómeno de agrupación y desarrollo organizativo, con el propósito de servir a la sociedad desde diferentes perspectivas, ofreciendo respuestas innovadoras a las necesidades humanas. Las empresas contribuyen al desarrollo social mediante la promoción y el bienestar de sus trabajadores, a través de sus estructuras

---

organizacionales e iniciativas, así como mediante la venta de productos y servicios que satisfacen las necesidades y demandas de los ciudadanos (Chiavenato, 2020).

El plano medioambiental, la empresa debe considerar, evidentemente, el ecosistema en el que se desenvuelve, teniendo en cuenta los recursos de los que dispone, así como los impactos que sus actividades generan en ese entorno. Concebida la naturaleza como un factor de producción finito y destructible que debe ser gestionada de una manera adecuada en los procesos productivos (Ballesteros, Díaz-Noriega, Elola, & Ramos, 2021). La divulgación de criterios ambientales tiene como objetivo mitigar el problema de la asimetría de información entre los agentes y las partes interesadas. Esta asimetría ocurre cuando una de las partes posee más información que la otra sobre las decisiones de la organización. Por ejemplo, cuando los inversionistas manejan información distinta sobre las ganancias en comparación con la que poseen los gerentes, el problema de la asimetría se agrava. Estas situaciones pueden llevar a que los ejecutivos tomen decisiones que favorezcan sus propios intereses en detrimento de los accionistas. Como consecuencia, la asimetría de información puede reflejarse en diversas variables, incluyendo variables financieras comunes en distintos sectores de la economía (Ordóñez-Castaño, Herrera-Rodríguez, Franco-Ricaurte, & Perdomo-Mejía, 2021).

Debe existir un equilibrio entre el concepto de sostenibilidad y su relación con el ecosistema empresarial para lograr un desarrollo armonioso de ambos. El ajuste socio-ecológico ha sido un enfoque ampliamente utilizado para evaluar la interacción entre los sistemas sociales y ecológicos en la gobernanza ambiental. Sin embargo, el papel de los proyectos dentro de este ajuste socio-ecológico aún no ha sido suficientemente problematizado ni conceptualizado de manera explícita. Considerando la importancia central de los proyectos - entendidos como organizaciones temporales que reúnen a diversos actores para colaborar en la consecución de objetivos y tareas específicas - en la gobernanza ambiental, esta falta de conceptualización representa una importante laguna en la literatura (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2010).

---

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), organismo de las Naciones Unidas encargado de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático, el informe Cambio Climático 2023 (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023) señala que el ecosistema global actual enfrenta retos significativos. En este contexto, una actividad empresarial sostenible, que considere cuidadosamente el impacto social y ambiental, será determinante para mantener los niveles de desarrollo económico y social a nivel mundial. El informe destaca que el cambio climático es uno de los principales riesgos para el planeta y la sociedad en general, y que está avanzando a un ritmo mayor del esperado. Numerosos estudios científicos confirman que la continua emisión de gases de efecto invernadero está provocando un aumento en la temperatura global, lo que a mediano plazo causará consecuencias ambientales, sociales y económicas a escala mundial (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023)

Los impactos derivados del cambio climático suponen una emergencia prioritaria, ya que están provocando la pérdida de vidas, el deterioro acelerado de los hábitats y cuantiosos daños materiales. Estas circunstancias, conllevan inevitablemente pérdidas para las compañías que experimentan los efectos negativos del incremento, tanto en frecuencia como severidad, de sucesos climáticos extremos y suponen grandes retos para las mismas en el proceso de adaptación de sus modelos productivos a una economía baja en emisiones (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2010).

#### **2.4.2. Desarrollo sostenible en Colombia**

En Colombia, el concepto de desarrollo sostenible fue incorporado oficialmente a través de la Asamblea Constituyente de 1991, en la cual se estableció como una meta nacional. En este contexto, se introdujeron también nociones fundamentales como el patrimonio ecológico y la calidad de vida (Rodríguez Becerra, 2008). En línea con estos principios, las empresas pueden adoptar estrategias y prácticas que respalden los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que implica considerar tanto los impactos sociales como ambientales de sus

---

operaciones. Estas estrategias incluyen la priorización de beneficios socioambientales por encima del interés económico inmediato, así como la implementación de prácticas orientadas a maximizar el bienestar social y minimizar los daños al medio ambiente (Liu, Lai, & Cai, 2021). En este marco, las organizaciones empresariales diseñan e implementan mecanismos de acción que buscan conciliar sus objetivos comerciales con mejores resultados sociales y ecológicos. No obstante, el cumplimiento efectivo de los ODS requiere inversiones significativas que exceden la capacidad de financiación pública, lo cual resalta la necesidad de una participación del sector privado (Liu, Lai, & Cai, 2021).

El gobierno del Estado colombiano, como veedor y actor principal del desarrollo sostenible, incorpora este concepto en varios artículos de la Constitución Política. Por ejemplo, el artículo 8, establece que “es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación” (Constitución Política de Colombia, 1991). Para ello, se debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de garantizar el desarrollo sostenible, la conservación, restauración y rehabilitación del suelo. Además, la Constitución obliga al Estado a prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Asimismo, el artículo 333, establece que la libertad económica estará limitada cuando el interés social, el ambiente y el patrimonio cultural de la nación así lo requieran (Constitución Política de Colombia, 1991).

Actualmente, Colombia ha avanzado en la consolidación de instrumentos de planeación sectorial que establecen las bases para un crecimiento económico compatible con los enfoques de producción y consumo sostenibles. Estas acciones buscan garantizar la protección ambiental, el bienestar social y la competitividad empresarial, en alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Cepei, 2019).

### **2.4.3. Alineación de la Gerencia de Proyectos con los ODS 9, 12 y 13**

El Objetivo de Desarrollo Sostenible DS 9 – Industria, Innovación e Infraestructura - constituye uno de los ejes fundamentales para la transformación de los proyectos tecnológicos

---

hacia una orientación sostenible, al proponer el desarrollo de infraestructuras resilientes, la promoción de una industrialización inclusiva y sostenible, y el fomento de la innovación (Singh, S. & Ru, J., 2023). Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, la integración de esta meta implica que los proyectos tecnológicos no deben limitarse únicamente a los criterios tradicionales de alcance, costo y tiempo, sino que también deben contemplar la capacidad de generar valor duradero mediante la innovación y la resiliencia del sistema productivo (Singh, S. & Ru, J., 2023). Así, la revisión sistemática de Singh y Ru evidencia que los principales desafíos para alcanzar el ODS 9 comprenden la brecha digital, la necesidad de infraestructura tecnológica adaptada a la sostenibilidad, la transferencia de tecnología y la medición de resultados industriales bajo criterios ecológicos y sociales. De esta manera, la gerencia de proyectos se posiciona como un agente estratégico para avanzar hacia una industrialización sostenible, alineando los beneficios de la innovación con las métricas de responsabilidad ambiental.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 12 - Producción y Consumo Responsables - plantea la necesidad urgente de desvincular el crecimiento económico del deterioro ambiental mediante la adopción de patrones de producción más eficientes, la gestión circular de los recursos y la reducción de residuos (Chan, S., Weitz, N., Persson, Å., & Trimmer, C., 2018). En el ámbito de la gerencia de proyectos tecnológicos, esto implica que los procesos de implementación, licenciamiento, operación y cierre deben incorporar criterios de eficiencia material, optimización energética y minimización del desperdicio (Trummer, P., Ammerer, G., & Scherz, M., 2022). En su estudio sobre la industria de materias primas en Austria, Trummer identifica un conjunto de 18 medidas concretas orientadas a la meta 12.2 del ODS 12, lo que evidencia la relevancia práctica de este objetivo para la estrategia de gestión de proyectos. Integrar el ODS 12 habilita que los proyectos no solo entreguen los resultados funcionales esperados, sino que lo hagan con un perfil de consumo de recursos inferior, contribuyendo así

---

a la sostenibilidad organizacional y al cumplimiento de compromisos nacionales e internacionales.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 13 - Acción por el Clima -, enfatiza que la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos constituyen responsabilidades fundamentales para las organizaciones, un imperativo que se traslada directamente a la gerencia de proyectos (Filho, W., Salvia, Dinis, & Mifsud, 2023). En la literatura académica reciente se destaca que los proyectos tecnológicos tienen la capacidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incrementar la resiliencia al cambio climático y abordar la movilidad, los equipos y el consumo energético como factores clave de desempeño (Hsieh & Yeh, 2024). Más aún, la interrelación entre el ODS 13 y otros ODS demuestra que los proyectos que incorporan criterios climáticos sistemáticamente logran mejores resultados en términos de sostenibilidad y valor compartido (Filho, W., Salvia, Dinis, & Mifsud, 2023). En consecuencia, la gerencia de proyectos responsables debe ir más allá del cumplimiento de plazos y presupuestos, orientándose también a minimizar la huella de carbono del proyecto y a maximizar su contribución a la acción climática.

La articulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9, 12 y 13 dentro del marco de la gerencia de proyectos tecnológicos sostenibles representa una convergencia estratégica que redefine los criterios tradicionales de éxito organizacional. Esta integración combina la promoción de infraestructuras resilientes, la optimización en el uso de recursos y la acción climática como pilares de competitividad y legitimidad institucional (Costa, D., Ribeiro, F. L. & Azevedo, C., 2024). En el ámbito de la gerencia de proyectos, dicha alineación impulsa una gestión más integral, donde la evaluación del desempeño incorpora métricas de sostenibilidad y resiliencia junto a los indicadores clásicos de costo, tiempo y alcance (Duarte, J. & López, M. A., 2023). Desde una perspectiva práctica, la inclusión de estos ODS en los sistemas de control fortalece la gobernanza del proyecto y favorece la toma de decisiones basadas en evidencia (Márquez, R. & Méndez, P., 2022). En consecuencia, los gerentes de

---

proyectos que internalizan los principios de los ODS 9, 12 y 13 se consolidan como actores estratégicos en la transición hacia modelos de desarrollo sostenibles, capaces de alinear innovación tecnológica, consumo responsable y mitigación del cambio climático con la transformación digital y productiva en contextos como el colombiano.

#### **2.4.4. ISO 14064-1:2018 y la Transformación Sostenible en Colombia**

La norma ISO 14064-1:2018 constituye una herramienta esencial para la cuantificación, gestión y reporte de los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel organizacional, consolidándose como un pilar metodológico en la transición hacia una economía baja en carbono. Su adopción fortalece la trazabilidad y comparabilidad de los inventarios, factores indispensables para el diseño de estrategias de descarbonización empresarial y la evaluación de políticas climáticas (Kasperzak, Kureljusic, Reisch, & Thies, 2023). En el contexto colombiano, donde el sector privado desempeña un papel clave en el cumplimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), esta norma permite establecer líneas base de emisiones verificables, promoviendo la transparencia y la credibilidad de la información ambiental. De igual forma, estudios recientes subrayan que la aplicación coherente del estándar, junto con el GHG Protocol Corporate Standard, potencia la toma de decisiones basada en evidencia, impulsa la ecoeficiencia y contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9, 12 y 13) (Schäfer, M., Cerdas, F., & Herrmann, C., 2023). En este sentido, la ISO 14064-1 no solo actúa como un mecanismo técnico de reporte, sino como un instrumento de gobernanza climática que alinea la medición del desempeño ambiental con la estrategia corporativa de sostenibilidad.

El principal valor añadido de la ISO 14064-1:2018 en el contexto colombiano radica en su capacidad para orientar la inversión sostenible y la gestión de riesgos climáticos empresariales. La disponibilidad de datos de emisiones verificables y auditables permite a las organizaciones acceder a mecanismos de financiación verde y mejorar su posición frente a riesgos reputacionales, regulatorios y de mercado (García-García, Pérez-Barea, & del Río,

---

2023). Más allá del cumplimiento normativo, la adopción de esta norma se ha consolidado como un catalizador de innovación tecnológica y ecodiseño, al fomentar la implementación de energías renovables reduciendo las emisiones del Alcance 2 y la optimización de la cadena logística, con efectos directos sobre el Alcance 3 (Wang, Z. & Fan, Z., 2024). Asimismo, la gestión bajo este estándar impulsa la eficiencia operativa, al integrar la contabilidad de carbono con los sistemas de gestión energética y de desempeño organizacional (Kim, S., Lee, J., & Jeong, H., 2022). En consecuencia, las empresas que operan bajo la ISO 14064-1:2018 se posicionan como actores estratégicos en la transición energética justa del país, alineando sus objetivos corporativos con la resiliencia climática y el bienestar social, coherentes con los compromisos de desarrollo sostenible asumidos por Colombia.

Finalmente, la adopción generalizada de la ISO 14064-1:2018 constituye un elemento clave para consolidar un mercado de carbono robusto y transparente en Colombia, al facilitar la implementación de estrategias de compensación y tarificación del carbono basadas en información verificable y estandarizada (Del Río-González, P., Hernández, R., & Avila, J., 2023). Esta norma proporciona la base técnica para garantizar la integridad ambiental de los créditos y contribuye a la trazabilidad de las reducciones de emisiones, fortaleciendo la confianza de los inversionistas y organismos de control (Hepburn, C., Stern, N., Stiglitz, J. E., & Wagner, G., 2022). En el ámbito de la gobernanza corporativa, su integración en los sistemas de toma de decisiones estratégicas promueve una cultura organizacional orientada a la rendición de cuentas climática, donde los resultados ambientales pueden ser auditados y comparados intersectorialmente (López-Gamero, M. D. & Molina-Azorín, J. F., 2023). Este enfoque estructurado y verificable permite que los esfuerzos de mitigación empresarial contribuyan efectivamente a los objetivos macroeconómicos de descarbonización del país, impulsando un crecimiento económico desacoplado de la intensidad de carbono y garantizando la competitividad sostenible en un contexto global marcado por la transición energética y las exigencias del Acuerdo de París (Zhu, Q., Li, H., & Sarkis, J., 2024).

---

#### 2.4.5. ISO 14064-2:2019 y la Transformación Sostenible en Colombia

La norma ISO 14064-2:2019 establece el marco metodológico esencial para la cuantificación, monitoreo y reporte de proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), garantizando que las reducciones logradas sean adicionales, medibles y verificables (International Organization for Standardization (ISO), 2019). Este estándar proporciona una estructura técnica sólida que articula dos componentes fundamentales: la línea base (baseline), que representa el escenario hipotético de emisiones en ausencia del proyecto y constituye el punto de referencia para demostrar adicionalidad; y el período de acreditación, definido como el intervalo durante el cual las reducciones se cuantifican, monitorean y reportan oficialmente (Gillenwater, 2012). Esta estructura metodológica, ampliamente adoptada en los esquemas de compensación voluntaria de carbono y en programas de mitigación corporativa, fortalece la trazabilidad, transparencia y credibilidad de los resultados obtenidos bajo modelos integrados, que buscan vincular la eficiencia económica con la responsabilidad ambiental (RINA Services S.p.A., 2023).

Esta arquitectura temporal y metodológica es esencial para la gestión integrada de proyectos. En la fase de planificación, la ISO 14064-2 exige definir un escenario de línea base y adoptar procedimientos para cuantificar fugas (UNFCCC, 2025), lo cual en el modelo de valor ganado se traduce en el Valor Planeado Ambiental ( $PV_{GEI}$ ), es decir, las emisiones esperadas de haber operado sin el proyecto. Durante la fase de implementación y monitoreo, la norma demanda la recolección periódica y rigurosa de emisiones reales del proyecto, que alimentan el Costo Real Ambiental ( $AC_{GEI}$ ). La diferencia entre las reducciones planeadas y las alcanzadas en cada período permite estimar la Varianza de Carbono ( $CV_{GEI}$ ), transformando un requisito técnico en una métrica de desempeño del proyecto. De este modo, el marco temporal de ISO 14064-2 adopta un ciclo continuo que va desde la planificación ex - ante hasta la cuantificación ex - post, reporte y verificación independiente (UNFCCC, 2025). Esta observancia normativa aporta trazabilidad y rigor metodológico, asegurando que los datos de emisiones sean

---

auditables e integrables. Finalmente, ese enfoque permite construir indicadores clave, como el Índice de Desempeño de GEI ( $PI_{GEI}$ ), que validan no solo la eficiencia ambiental en el periodo acreditado, sino también la coherencia del modelo EVM-GEI como herramienta estratégica de gestión sostenible.

#### **2.4.6. ISO 14064-3:2019 y la Transformación Sostenible en Colombia**

La norma ISO 14064-3:2019 define el marco metodológico obligatorio para la validación y verificación de declaraciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), constituyéndose en un estándar de aseguramiento de calidad en análisis ambientales complejos. En esta norma, la validación se entiende como un proceso prospectivo (ex - ante), destinado a garantizar, antes del inicio del proyecto o del período de reporte, que la metodología propuesta, el diseño del proyecto y la línea base son consistentes, técnicamente sólidos y capaces de producir las reducciones proyectadas (Savenkova, Kushch, Sukhetsky, & Tsibareva, 2025). Estudios recientes muestran que las estimaciones ex - ante frecuentemente sobrestiman las reducciones reales observadas (Probst, Toetzke, Diaz Anadon, Kontoleon, & Hoffmann, 2023), lo que enfatiza la necesidad de validaciones rigurosas y metodologías robustas de verificación (Zhou et al., 2024).

#### **2.4.7. El Crecimiento Verde como Estrategia de Transición hacia la Sostenibilidad**

Dentro del movimiento por el desarrollo sostenible, la sociedad y la industria son actores determinantes en la integración de la actividad económica con la protección y conservación de la naturaleza, tanto en el presente como para las generaciones futuras. En este sentido, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) representa un referente importante. En la compilación de la política de crecimiento verde del Gobierno Nacional se indica que:

“Colombia es un país que, gracias a su ubicación geográfica, cuenta con grandes recursos naturales, pero estos son limitados, por lo que debe fomentar el crecimiento verde para el desarrollo sostenible del país, asegurando la base de recursos naturales y los servicios

---

ambientales que prestan los ecosistemas al crecimiento económico. Actualmente, el mundo funciona bajo un esquema de economía lineal: extraer, fabricar y desechar” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Como parte de la iniciativa de crecimiento verde impulsada por el gobierno, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) ha contribuido desde 2007 a la creación y consolidación de las principales iniciativas de posconsumo colectivas a nivel nacional. Estas acciones responden al interés del empresariado por cumplir con las normas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). Las iniciativas buscan gestionar los impactos ambientales de los productos hasta el final de su vida útil y atender las crecientes expectativas de diversos grupos de interés, incluyendo consumidores, en materia de protección ambiental (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 2019).

De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), “todos los sectores públicos y privados deben ser parte de la estrategia de crecimiento verde” (Departamento de Planeación Nacional, 2019). Dentro de esta política se establecen acciones para diversos sectores económicos en Colombia, basadas en análisis de estrategias que influyen en las decisiones de compra de los consumidores y la gestión de sus impactos. Estas incluyen el uso del criterio de ciclo de vida para vincular la cadena de valor, mejorar la productividad, estimular el uso eficiente de recursos y reducir las huellas de carbono y de agua. Como señala el DNP, “los recursos naturales no son ilimitados. Es necesario considerar nuevos modelos de crecimiento que se articulen con los ciclos naturales y respondan simultáneamente a la competitividad de las empresas y a la creación de valor en la sociedad”.

Las empresas comprometidas con la sostenibilidad tienden a ir más allá del enfoque tradicional del “business case” verde, que suele limitar las estrategias ambientales a la mejora de la eficiencia del capital (Lozano, 2015). Estas estrategias incluyen además la consideración de las implicaciones sociales de sus operaciones, integrando valores sociales y ambientales en la toma de decisiones corporativas (Elkington, 1997). No obstante, los emprendedores

---

sostenibles enfrentan obstáculos institucionales significativos, como la falta de apoyo financiero, administrativo y de información, lo que dificulta la creación y consolidación de sus empresas en comparación con los empresarios convencionales (York & Venkataraman, 2010).

Las estrategias empresariales sostenibles pueden incluir la consideración explícita de las implicaciones ambientales de las operaciones comerciales. Además, las prácticas éticas y socialmente responsables son valoradas como fundamentales por los empresarios, ya que contribuyen a la reputación corporativa y a la percepción de buena ciudadanía empresarial (Carroll, 1999). Los valores culturales asociados al posmaterialismo, que enfatizan la calidad de vida y la sostenibilidad, tienen un impacto significativo en los modelos de creación de valor adoptados por los empresarios (Inglehart, 1997). En consecuencia, las estrategias sostenibles suelen priorizar los beneficios socioambientales incluso por encima de la rentabilidad financiera y el crecimiento del negocio (Elkington, 1997).

En sociedades con valores pos-materialistas predominantes, los emprendedores tienden a tener un mayor enfoque en la creación de valor social y ambiental, relegando en menor medida los objetivos económicos (Inglehart, 1997). Estas prioridades y consideraciones se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aunque no siempre los estrategias empresariales están plenamente conscientes de estos marcos internacionales. Las empresas suelen abordar la sostenibilidad cuando esta se alinea con su responsabilidad frente a los accionistas y otros grupos de interés (Freeman, Harrison, Parmar, Wicks, & De Colle, 2010). En este contexto, las prácticas empresariales, entendidas como las formas en que una empresa opera, pueden potenciar los beneficios sociales derivados de sus actividades (Porter & Kramer, 2011).

#### **2.4.8. Emisiones de gases de efecto invernadero**

El mundo enfrenta uno de los mayores desafíos en materia climática: la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con el objetivo de mitigar el aumento de la temperatura global. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

---

(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019), si las actividades humanas continúan al ritmo actual, el calentamiento global podría alcanzar los 1,5 °C entre los años 2030 y 2052. En 2019, el incremento de las emisiones fue del 2,6 %, en parte debido al aumento significativo de incendios forestales (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

De acuerdo con el *Informe sobre la brecha de emisiones 2020* (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2020), a pesar de la reducción temporal de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante ese año como consecuencia de la pandemia por COVID-19, el planeta sigue encaminado hacia un aumento de temperatura superior a los 3 °C durante este siglo. El informe analiza la brecha entre las proyecciones de emisiones futuras - basadas en la implementación de los compromisos actuales de mitigación - y las trayectorias de menor costo compatibles con los objetivos de temperatura establecidos en el Acuerdo de París (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2020).

Durante 2020, el avance más notable y alentador en materia de políticas climáticas fue que un número creciente de países manifestó la firme determinación de alcanzar las cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) hacia mediados de siglo. Esta intención se refleja en iniciativas normativas a corto plazo y en las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC, por sus siglas en inglés) proyectadas para el año 2030.

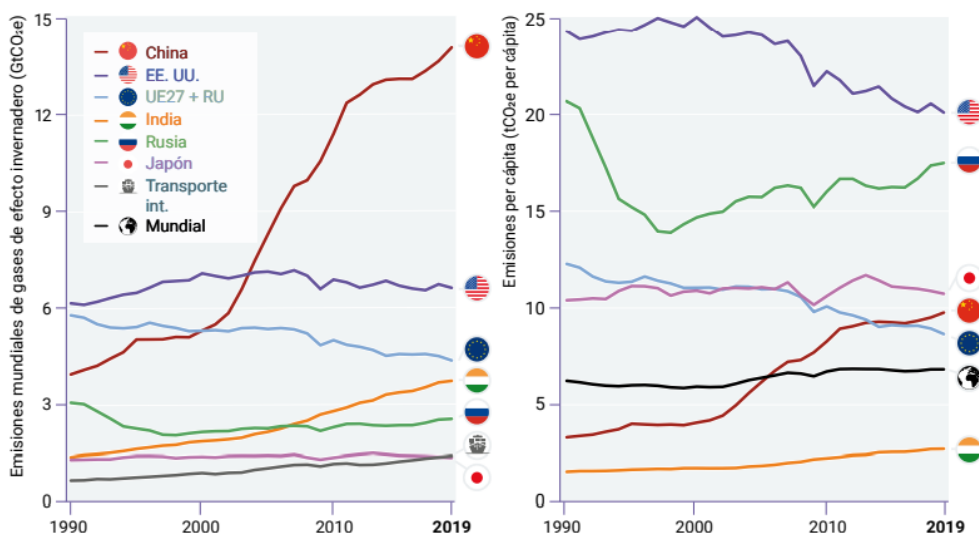
Asimismo, según el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2020), durante 2019, por tercer año consecutivo, las emisiones mundiales de GEI aumentaron, alcanzando un máximo histórico: 52,4 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub>e; ±5,2) sin incluir las emisiones derivadas del cambio en el uso del suelo, y 59,1 GtCO<sub>2</sub>e (±5,9) si se incluyen estas emisiones. Las emisiones fósiles de CO<sub>2</sub>, producidas a partir de combustibles fósiles y carbonatos, representan el 65 % de las emisiones totales de GEI, incluyendo el cambio en el uso del suelo, y constituyen la principal causa del aumento en las emisiones. Los datos preliminares indican que en 2019 las emisiones fósiles de CO<sub>2</sub> alcanzaron un nivel sin

---

precedentes de 38 GtCO<sub>2</sub>e ( $\pm 1,9$ ) (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2020).

Durante la última década, los cuatro principales emisores - China, Estados Unidos de América, los 27 Estados miembros de la Unión Europea y el Reino Unido, y la India - contribuyeron con el 55 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), excluyendo las derivadas del cambio en el uso del suelo. Los siete mayores emisores - los anteriores, junto con la Federación de Rusia, Japón y el transporte internacional - representaron el 65 % de dichas emisiones, mientras que los miembros del G20 generaron el 78 % del total, ver figura 3. Cuando se analizan las emisiones per cápita, la clasificación de países cambia radicalmente (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2020).

**Figura 3 Emisiones de GEI en términos absolutos.**



*Nota:* Tomado del informe del PNUMA. Fuente: (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2020).

Las observaciones de numerosos escenarios recientes de mitigación indican que, para controlar el aumento de la temperatura global durante el siglo XXI, es necesario abandonar el “business as usual” (negocios como de costumbre). Además, los escenarios elaborados por el

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change), conocidos como vías representativas de concentración (RCP, por sus siglas en inglés), promueven mejoras en la eficiencia y cambios en el comportamiento para reducir la demanda energética en los sectores de transporte, edificios e industria. Por lo tanto, estos escenarios brindan mayor flexibilidad y diversas oportunidades para disminuir la intensidad de carbono en el suministro energético (Muñoz Villamizar, 2018).

Después del acuerdo de París, los países han tomado cada vez más medidas para abordar el cambio climático. El costo social del carbono (CSC, por sus siglas en inglés, *Social Cost of Carbon*) – que equilibra los costos sociales derivados de la reducción de emisiones con los costos incrementales asociados a las políticas regulatorias - se ha utilizado ampliamente para proporcionar orientación política (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014). Debido a la amplia gama de interacciones sociales y climáticas incluidas en el cálculo, la estimación de CSC es necesariamente compleja y presenta un alto grado de incertidumbre (Pindyck, 2013).

El calentamiento global constituye uno de los desafíos ambientales más significativos del siglo XXI. En este contexto, China - como el mayor país en desarrollo y principal emisor de gases de efecto invernadero - ha asumido compromisos climáticos importantes, incluyendo su objetivo de alcanzar la neutralidad de carbono para 2060 (Zheng, 2019). Paralelamente, ha cobrado relevancia en la literatura académica el enfoque de la experimentación en la gobernanza climática, el cual se aleja de las concepciones tradicionales centradas exclusivamente en el papel del Estado como actor dominante en los asuntos globales (Rayner, 2015).

El cambio climático global, causado por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), constituye un problema ambiental estrechamente vinculado con el crecimiento económico y el desarrollo social (Moore, 2016). En

---

consecuencia, las estrategias orientadas a la reducción de emisiones y a la conservación de la energía se han convertido en un consenso mundial para enfrentar y mitigar este fenómeno. Uno de los pasos más relevantes en este proceso es el cálculo preciso de las emisiones de carbono en distintas regiones, con el objetivo de identificar los factores impulsores y asignar de manera equitativa la responsabilidad de reducción de emisiones entre países y economías (Mi, 2019).

El enfoque científico y racional en la contabilidad de las emisiones de carbono constituye una base sólida para la determinación y aplicación de objetivos de reducción, así como para la formulación de políticas públicas eficaces. Actualmente, la contabilidad de emisiones de carbono sigue siendo un tema prioritario en la investigación internacional, siendo uno de los principales desafíos la distribución equitativa de responsabilidades entre productores y consumidores de carbono (Mi, 2019).

La identificación de las estrategias de reducción más efectivas es posible mediante la contabilidad precisa de las emisiones. Esto no solo puede conducir a una mayor eficiencia energética y en el uso de materiales, sino también al desarrollo de nuevos productos y servicios que disminuyan los impactos de los gases de efecto invernadero (GEI) generados por clientes y proveedores. En consecuencia, la limitación de las emisiones de GEI contribuye a la reducción de los costos de producción y posiciona a la empresa como un actor diferenciado en un mercado cada vez más sensible a las cuestiones ambientales (Development, 2015).

La evaluación de la eficiencia ambiental, la productividad y el precio sombra de los contaminantes tiene sus orígenes en la segunda mitad del siglo XX. Pittman un pionero en el análisis de la eficiencia ambiental fue uno de los primeros en conceptualizar los contaminantes como productos indeseables en los procesos productivos. La mayoría de los estudios posteriores sobre eficiencia ambiental y productividad emplean funciones de distancia para medir el desempeño relativo de las unidades productivas en presencia de contaminantes, facilitando así la evaluación del impacto ambiental en términos cuantitativos (Pittman, 1983).

---

El principal desafío del enfoque basado en la métrica monetaria radica en encontrar una valoración creíble de los bienes intangibles en una unidad monetaria común. Una vez determinados los precios sombra de los factores que influyen en el bienestar - como la salud, el acceso al empleo, el medio ambiente o la seguridad personal - resulta posible construir una medida agregada de bienestar. Sin embargo, la estimación de precios sombra confiables sigue siendo una dificultad significativa que no ha sido completamente superada (Murtin, 2017).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) planificadas en una actividad programada corresponden a la cantidad estimada de emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> generadas por el trabajo agendado para dicha actividad. De manera similar a las clasificaciones para la estimación de costos propuestas por la práctica internacional recomendada de la Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE), las emisiones planificadas pueden desarrollarse con diferentes niveles de precisión. Este nivel de precisión está determinado y correlacionado con el nivel de desglose de la estructura del trabajo utilizado en el proceso de estimación: a mayor número de niveles de desglose, mayor precisión se puede esperar (Abdi, Taghipour, & Khamooshi, 2018). La capacidad de una ciudad para adoptar medidas eficaces que mitiguen el cambio climático y monitoreen su progreso depende del acceso a datos de buena calidad sobre las emisiones de GEI. La planificación de la acción climática comienza con la elaboración de un inventario de GEI, que permite a las ciudades comprender la contribución de las emisiones de distintas actividades en la comunidad. Esto les facilita determinar hacia dónde dirigir mejor los esfuerzos de mitigación, crear estrategias para reducir las emisiones y dar seguimiento a su progreso (Institute, 2014). La cuestión del cambio climático ha ocupado un lugar destacado en la agenda global durante varios años y es probable que continúe siendo un tema prioritario en el futuro (SvanteMandell, 2011).

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) cubiertos por el Protocolo de Kioto (Nicole, 2016) se relacionan en la Tabla 1, la cual utiliza un factor de potencial de calentamiento global (PCA). Todos los GEI pueden convertirse en dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq)

---

(Abdi, Taghipour, & Khamooshi, 2018). En la Tabla 1 se presenta el listado de los gases de efecto invernadero identificados, junto con su acrónimo y la fuente de generación y emisión.

**Tabla 1** Listado gases de efecto invernadero.

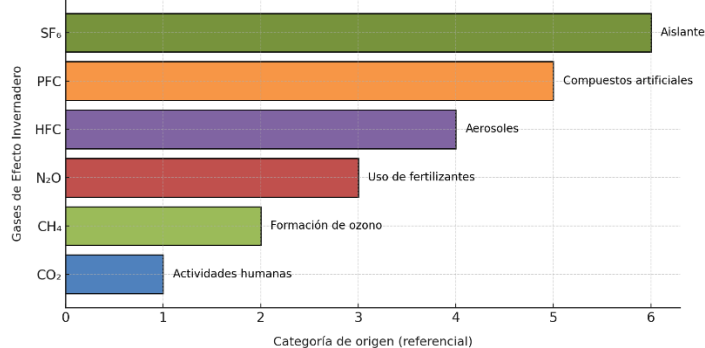
Gases de Efecto Invernadero	Acrónimo	Generado por
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Actividades del ser humano
Metano	CH <sub>4</sub>	Formación de ozono a nivel del suelo
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	Uso masivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura intensiva
Hidrofluorocarbonos	HFC	Son compuestos químicos artificiales - aerosoles
Perfluorocarbonos	PFC	Son compuestos químicos artificiales
Hexafluoruro de azufre	SF <sub>6</sub>	Son compuestos químicos artificiales - aislante

*Nota:* Elaboración propia adaptado de información de medio ambiente y economía del desarrollo.

Fuente: (Nicole, 2016).

En la figura 4 se presentan los principales gases de efecto invernadero (GEI) junto con sus fuentes de generación. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) proviene principalmente de las actividades humanas, el metano (CH<sub>4</sub>) de la formación de ozono a nivel del suelo y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) del uso intensivo de fertilizantes en la agricultura. Por su parte, los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) corresponden a compuestos químicos artificiales empleados en procesos industriales, aerosoles y sistemas de aislamiento.

**Figura 4** Principales gases de efecto invernadero y su origen.



*Nota:* Elaboración propia adaptado de información de medio ambiente y economía del desarrollo.

Fuente: (Nicole, 2016).

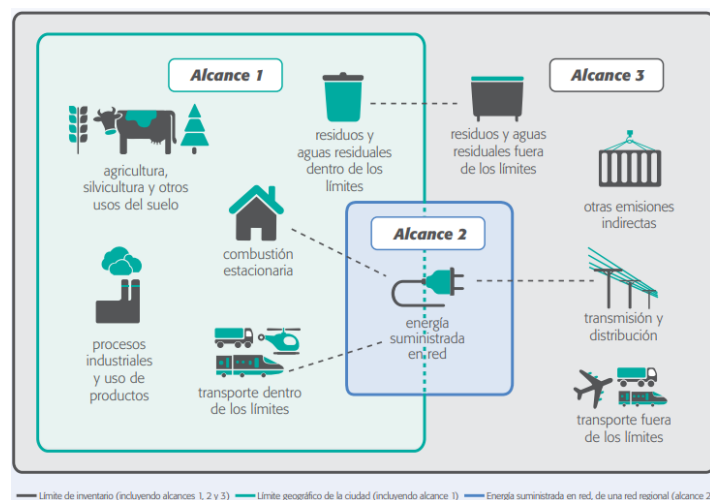
El Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés, *World Resources Institute*), en la publicación de la edición del *Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria*, (Institute, 2014), clasifica las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de una entidad en tres alcances (ver Figura 5), indicando las fuentes y límites de las emisiones de GEI de la ciudad. En la Tabla 2 se presenta el listado de los alcances en los cuales los gases de efecto invernadero identificados tienen participación.

**Tabla 2** Definiciones de los alcances GEI para inventarios de ciudades.

Alcance	Definición
Alcance 1	Emisiones de GEI provenientes de fuentes situadas dentro de los límites de la ciudad.
Alcance 2	Emisiones de GEI que se producen como consecuencia de la utilización de energía, calor, vapor y/o refrigeración suministrados en red dentro de los límites de la ciudad.
Alcance 3	El resto de las emisiones de GEI que se producen fuera de los límites de la ciudad, como resultado de las actividades que tienen lugar dentro de los límites de la ciudad.

*Nota:* Elaboración propia adaptado de protocolo global para inventarios de emisión de gases de efecto invernadero a escala comunitaria. Fuente: (Institute, 2014).

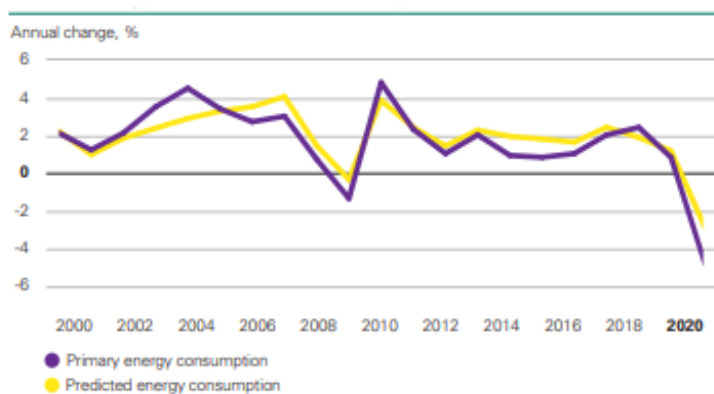
**Figura 5** Fuentes y límites de las emisiones de GEI en la ciudad



*Nota:* Adaptado de Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria. Fuente: (Institute, 2014).

Como una importante fuerza motriz, el consumo de energía desempeña un papel esencial en el desarrollo económico y el progreso social en el siglo XXI (Abdi, Taghipour, & Khamooshi, 2018). Según el *Statistical Review of World Energy* (SRWE – Statistical Review of World Energy, 2021), el consumo de electricidad experimentó la menor caída entre los principales componentes de la demanda final de energía, disminuyendo solo un 0.9 % en 2020 (ver Figura 6). La relativa resiliencia del uso de electricidad se atribuye a la naturaleza de los confinamientos, donde la caída de la demanda de energía en la industria y los edificios comerciales fue parcialmente compensada por el aumento del consumo doméstico debido al teletrabajo y al confinamiento familiar (SRWE – Statistical Review of World Energy, 2021).

**Figura 6** Demanda mundial de energía: real frente a prevista.



*Nota:* Adaptado de statistical review of World Energy. Fuente: (SRWE – Statistical Review of World Energy, 2021).

La demanda mundial de energía, considerada la sangre vital del mundo moderno, ha aumentado en los últimos años. Sin un cambio significativo en las políticas gubernamentales, se prevé que la demanda mundial de energía primaria aumente de 12,271 a 18,048 Mtep<sup>1</sup> entre 2008 y 2035, lo que representa un incremento del 47% (SRWE – Statistical Review of World

Energy, 2021). Mientras tanto, la población mundial depende principalmente de fuentes de energía tradicionales, contaminantes e insostenibles (Abdi, Taghipour, & Khamooshi, 2018).

#### **2.4.9. La Huella de Carbono como Indicador de Gestión Ambiental**

La metodología para integrar la sostenibilidad en el análisis del proyecto comienza con la cuantificación de emisiones ( $E_t$ ), expresadas en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>e). Este cálculo se fundamenta en el estándar del Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2024), que exige una clasificación estructurada de las emisiones en alcance 1 (directas), alcance 2 (indirectas por consumo energético) y alcance 3 (otras indirectas generadas a lo largo de la cadena de valor). La correcta delimitación de estos alcances es esencial para evitar la subestimación del impacto climático y permitir la comparabilidad entre proyectos y organizaciones (Mejía, C. & Kajikawa, Y., 2024). Desde la perspectiva de las inversiones en proyectos, esta cuantificación técnica es clave, pues las emisiones proyectadas constituyen la base para estimar los costos futuros de mitigación, control regulatorio y gestión ambiental, y se integran explícitamente en el análisis financiero del proyecto (Ye, J. & Xu, W., 2023).

No obstante, la aplicación del Precio Sombra del Carbono (SPC) enfrenta desafíos metodológicos significativos. Su estimación depende de supuestos sobre el costo social del carbono, las trayectorias de descarbonización y la estabilidad regulatoria, lo que introduce incertidumbre en los modelos financieros (Stern, N. & Stiglitz, J. E., 2023). En consecuencia, los análisis de sensibilidad resultan esenciales para evaluar la robustez del proyecto ante variaciones del SPC, permitiendo identificar umbrales de rentabilidad y riesgo asociados a diferentes escenarios de precios del carbono (Wang, Z. & Fan, Z., 2024). La literatura reciente enfatiza que la adopción de rangos dinámicos, en lugar de valores fijos, mejora la consistencia del análisis y facilita la alineación de las proyecciones financieras con las metas de mitigación bajo condiciones de mercado cambiantes (Pindyck, R. S., 2023). Este enfoque contribuye a un

---

modelo financiero más resiliente, donde la sostenibilidad y la rentabilidad no son objetivos excluyentes, sino dimensiones interdependientes de la toma de decisiones estratégicas.

Desde una perspectiva teórica, la integración del Precio Sombra del Carbono (SPC) en los modelos financieros se sustenta en la economía ambiental clásica, que propone la internalización de las externalidades negativas mediante instrumentos de valoración del carbono. El SPC actúa como una medida del costo social del carbono, permitiendo traducir los impactos ambientales en términos monetarios y reflejarlos dentro del análisis de rentabilidad de proyectos e inversiones (Rafaty, R., Dolphin, G., & Pretis, F., 2023). Este enfoque ha adquirido relevancia tras el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015), que insta a gobiernos y sectores productivos a utilizar mecanismos de carbon pricing para alcanzar la neutralidad climática hacia 2050. En la literatura contemporánea, el SPC se reconoce como un elemento clave para fomentar la innovación tecnológica, mejorar la eficiencia energética y orientar los flujos de capital hacia actividades de baja emisión de carbono, fortaleciendo la transparencia del riesgo climático y la resiliencia financiera en el marco de las finanzas sostenibles (Zhang, L. & Pan, Z., 2024). Así, el SPC no solo cuantifica las externalidades, sino que redefine la sostenibilidad como una variable económica tangible alineada con los objetivos globales de mitigación y valor a largo plazo.

## **2.5. Gerencia de Proyectos**

En la última década, la profesión de gerente de proyectos ha seguido consolidándose dentro de entornos organizativos cada vez más dinámicos, caracterizados por rápidos cambios tecnológicos y sociales. Aun así, un porcentaje significativo de proyectos de tecnología de la información continúan fallando por causas recurrentes como la falta de requisitos claros (AvenDATA, 2023), la planificación deficiente, la comunicación inadecuada y el compromiso insuficiente de los stakeholders (Wellingtone, 2024).

Investigaciones recientes, como el estudio de Flyvbjerg, advierten que los sobrecostos en proyectos IT no siguen una distribución normal, sino una ley de potencias, lo que implica

---

que los casos de desviaciones extremas son más frecuentes de lo que se suele prever bajo supuestos estadísticos tradicionales (Flyvbjerg, y otros, 2022).

En respuesta, organismos profesionales han actualizado sus estándares. Por ejemplo, IPMA lanzó recientemente la guía *Project Management by ICB4*, enfatizando competencias en personas, práctica y perspectiva contextual en los proyectos (Hedeman & Riepma, 2023).

Además, se ha observado que incluso con metodologías ágiles o híbridas, los desafíos estructurales liderazgo, estructura de gobernanza, clarificación de objetivos y alineamiento negocio IT, siguen siendo críticos para alcanzar los resultados proyectados (Crudu, V., & MoldStud Research Team, 2025).

En los proyectos modernos, el éxito ya no se mide únicamente por cumplir los parámetros tradicionales de alcance, cronograma y costos lo que se denomina la “triple restricción” o “triángulo de hierro” (Atkinson, 1999). Estudios recientes muestran que esos métodos convencionales pueden resultar insuficientes o incluso contraproducentes en proyectos que presentan alta complejidad estructural, incertidumbre significativa y plazos estrictos (Watanabe, 2024). Cada vez más, profesionales y académicos reconocen que para evaluar realmente el éxito del proyecto es indispensable incluir también: logro de los objetivos previstos, satisfacción de los requerimientos de los stakeholders, alineamiento estratégico con la organización, y cumplimiento de criterios de gestión como calidad y generación de beneficios (Alnhari, A. A. & Qureshi, R., 2024). "El éxito de un proyecto depende de la gestión efectiva de diversas variables. Las variables dependientes, como la satisfacción de los stakeholders y el cumplimiento de los objetivos del proyecto, se ven influenciadas por variables independientes tales como la gestión de las partes interesadas, la definición de las líneas base (alcance, cronograma, costo y calidad), la gestión de comunicaciones, los recursos humanos y sus competencias, la gestión de riesgos y problemas, y la metodología de control del proyecto. La adecuada gestión de estas variables independientes impacta favorablemente en el éxito del proyecto (Koi-Akrofi, 2019)". La entrega de valor al negocio puede manifestarse de diversas

---

maneras, tales como el incremento de ingresos, la mejora de la satisfacción del cliente, el aumento de la participación en el mercado, la reducción de costos y la introducción de nuevos productos o servicios (Ulwick, 2023). La creación de conocimiento constituye un paso significativo hacia la mejora de la eficiencia general de la gestión de proyectos y el aumento de la productividad y rentabilidad de la organización en la industria (Ouriques, Gorschek, Mendez, & Fagerholm, 2023).

Diversos estudios han evidenciado que las organizaciones asignan prioridades distintas al proceso y al resultado de los proyectos. Por ejemplo, Brown identificó que la implementación de la gestión de proyectos en organizaciones funcionalmente estructuradas es un proceso complejo que requiere intervención estratégica (Brown, 1997). Este enfoque permite a los gerentes comprender las relaciones causa-efecto entre las acciones organizacionales y los resultados obtenidos (Calvo-Mora, 2015). Además, la necesidad de un liderazgo más robusto en proyectos depende significativamente del grado de confianza entre los miembros del equipo y la actividad administrativa (Curran, 2009). La entrega de valor por parte de los gerentes de proyecto exige que los profesionales de TI vayan más allá del mero incremento de eficiencia y productividad (Zwikael, 2019); deben generar valor comercial, asegurar retornos de inversión y contribuir a la efectividad organizacional (Van de Wetering, 2021). De Haes y Van Grembergen, definen la gestión de TI como el liderazgo, las estructuras y los procesos organizacionales que garantizan que la tecnología de la información sostenga y extienda la estrategia y los objetivos institucionales (De Haes, 2009). Además, Hoving identifica los desafíos que afrontan los líderes de sistemas de información de cara al futuro y propone recomendaciones para aprovechar tendencias tecnológicas, gestionar recursos internos y externos, y asegurar una ejecución excelente (Hoving, 2010). Más recientemente, estudios empíricos sobre arquitectura empresarial dinámica han confirmado que dichas capacidades de TI, cuando están bien alineadas con la estrategia del negocio, influyen positivamente en la innovación de procesos y en los beneficios organizacionales (Van de Wetering, 2021).

---

La gestión del portafolio ha adquirido una importancia crítica para la supervivencia empresarial, dado que sus objetivos principales incluyen maximizar el valor financiero, alinear los proyectos con la estrategia corporativa, y equilibrar el portafolio tomando en cuenta las capacidades internas de la organización (Suvari S. K., 2024). En cuanto a la complejidad de los proyectos, se ha establecido que las relaciones entre los diversos elementos de un proyecto suelen ser no lineales, lo que provoca comportamientos emergentes del sistema y obliga a adoptar marcos conceptuales ajustados a esa realidad (Williams, 2018). En lo relativo a las partes interesadas (stakeholders), estudios recientes muestran que los proyectos interorganizacionales desarrollan resiliencia cuando se clarifican roles y responsabilidades, cuando existen mecanismos de gobernanza contractuales y relacionales, y cuando se fomenta una cognición colectiva entre los stakeholders, especialmente en entornos con múltiples organizaciones involucradas (Yang, 2022).

Una gestión de proyectos sistemática comprende métodos, herramientas y modelos; puede entenderse como la aplicación secuencial de procesos estructurados con el propósito de institucionalizar prácticas estandarizadas (Project Management Institute (PMI), 2021). El desempeño en la gestión de proyectos se conceptualiza como la capacidad de las organizaciones para alcanzar sus objetivos estratégicos mediante la ejecución eficiente de proyectos, considerando restricciones de tiempo, costo y calidad (Han, H. & Zhang, X., 2024). (Hyväri, 2006) señaló que las herramientas y técnicas de gestión de proyectos estaban bien desarrolladas y planteó que es necesario ahora enfatizar el desarrollo de habilidades de liderazgo. Estudios recientes confirman esta necesidad: por ejemplo, Mercado y Facelli identifican liderazgo, habilidades interpersonales y capacidad de adaptación como competencias críticas para el éxito de los proyectos (Mercado, L. & Facelli, P., 2024). Además, el liderazgo de servicio se relaciona positivamente con el éxito del proyecto, mediado por orientación al aprendizaje del equipo y agilidad del equipo, especialmente en el contexto de la construcción (Han, H. & Zhang, X., 2024). Finalmente, la literatura también muestra una

---

tendencia creciente hacia modelos híbridos de gestión de proyectos, que combinan metodologías tradicionales y ágiles para adaptarse mejor a distintos entornos y exigencias (Krupa, M., Šimůnek, D. & Hájek, J., 2023).

Existen tres objetivos estratégicos fundamentales al gestionar proyectos: seleccionar los proyectos correctos, ejecutar los proyectos elegidos de manera eficiente, y garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Klakegg, 2008). En este sentido, el uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) - como recursos, tiempo de ciclo y costo - en procesos corporativos y de TI permite evaluar con mayor precisión la alineación entre los proyectos y los objetivos corporativos en distintos momentos del ciclo de vida (Steuperaert, D., Poels, G. & Devos, J., 2024). Symons indicó que la gobernanza de TI como el proceso de tomar decisiones sobre inversiones en TI: cómo se toman las decisiones, quién toma las decisiones, quién es responsable y cómo medir y monitorear los resultados de las decisiones (Symons, 2005). De acuerdo con Tomas y Mengel, la investigación de Cicmil mostró que los métodos convencionales pueden ser inadecuados y potencialmente desventajosos para los proyectos que son estructuralmente complejos, inciertos y limitados en el tiempo (Thomas, 2008).

La gerencia de TI tiene como finalidad planificar, establecer e implementar los procesos asociados al ciclo de vida tecnológico, lo cual supone desarrollar técnicas que permitan, en primer lugar, tomar decisiones de inversión en TI acertadas en el marco de una gestión eficaz, y, en segundo lugar, anticipar el comportamiento de los componentes de TI mediante simulaciones o modelos predictivos en distintos escenarios contextuales (Xue, Y., Liang, H. & Boulton, W. R., 2008). La adopción de un enfoque estructurado bien diseñado facilita que las capacidades tecnológicas se conserven, transfieran y adapten a lo largo del tiempo, del espacio y entre contextos organizativos diversos (Stathakopoulos, 2025). Además, hay un reconocimiento creciente de la responsabilidad social y del papel de los grupos de interés (stakeholders) en la gestión de TI: las organizaciones son concebidas como sistemas abiertos que operan dentro de comunidades mayores y dependen de infraestructuras legales y de

---

mercado más amplias, lo cual condiciona las decisiones de TI y su valor social (Technovation, 2022).

El propósito de la empresa es crear riqueza y valor para sus partes interesadas (Clarke, 2004), lo que exige una implementación cuidadosa de los sistemas globales de operaciones y tecnología. En este sentido, investigaciones recientes identifican causas típicas de fracaso en sistemas de información, tanto durante su implantación como en su operación, que las organizaciones debieran anticipar y evitar, tales como comunicaciones deficientes, planificación de cronogramas inadecuada, escasez de recursos, programación deficiente de actividades, y deficiencias en el control de calidad (Alnhari, A. A. & Qureshi, R., 2024). En cuanto a la atribución del éxito o fracaso en proyectos de TI, estudios recientes mantienen hallazgos similares a los de Standing: los empleados operativos tienden a atribuir el fracaso a factores externos, mientras que se adjudican el éxito; la alta dirección, en cambio, presenta una perspectiva más matizada, reconociendo tanto factores internos como externos en ambos casos (Standing, 2006). Además, los recursos de la empresa - incluyendo los recursos tecnológicos - siguen siendo predictores centrales del desempeño organizativo, especialmente cuando se gestionan de modo estratégico, alineados con capacidades dinámicas que permitan adaptarse a cambios (Monson, 2024).

Dentro del marco del PMI, se sostiene que los gerentes de proyecto deben desarrollar competencias que integren tanto desempeño como conocimiento, asumiendo responsabilidad individual sobre su propio crecimiento profesional, a fin de cumplir con los estándares de rendimiento esperados y generar los resultados previstos (Ochoa-Pacheco, Coello-Montecel, Tello, & Armijos, 2023). Un enfoque bien estructurado para medir el desempeño, especialmente cuando considera dimensiones como la confianza, el control, la delegación de liderazgo horizontal y la claridad en las funciones del equipo, resulta crítico para la gobernanza eficaz de los proyectos (Pilkienė, Alonderienė, Chmieliauskas, Šimkonis, & Müller, 2018). Al mismo tiempo, estudios recientes sobre fracaso en proyectos de TI identifican causas persistentes

---

tales como comunicaciones ineficientes, definición imprecisa de requisitos, mala planificación de cronogramas, asignación insuficiente de recursos y deficiencias en la gestión de cambios (Enterprise, 2023). Además, las competencias del gerente de proyecto técnicas, de conocimiento y comportamentales continúan demostrando un impacto estadísticamente significativo en el éxito del proyecto en términos de tiempo, costo y calidad (Hasim, N. K. & Salleh, H., 2024). En consecuencia, la adecuada medición de estas competencias y del desempeño, junto con mecanismos de liderazgo horizontales y gobernanza transparente, mejora la probabilidad de éxito del proyecto y la alineación estratégica dentro de la organización.

La competencia de desempeño o competencia operativa puede conceptualizarse como el conjunto de comportamientos observables mediante los cuales un gerente de proyectos traduce su conocimiento y habilidades en resultados efectivos. En muchos marcos de competencia, esta dimensión se divide en múltiples unidades o subcompetencias, que juntos componen el proceso de gestión de proyectos (Project Management Institute (PMI), 2023). En la Tabla 3 se presenta el listado concreto de las competencias exigidas a los gerentes de proyecto durante la fase de ejecución, con sus respectivas definiciones operativas y criterios de evaluación. Estudios recientes han ido más allá de esquemas rígidos y han propuesto modelos mixtos de competencias técnicas, conductuales y contextuales adaptados al tipo de proyecto y contexto organizacional (Sina Moradi, Kalle Kähkönen, & Kirsi Aaltonen, 2020).

**Tabla 3** *Competencias de los gerentes de proyectos.*

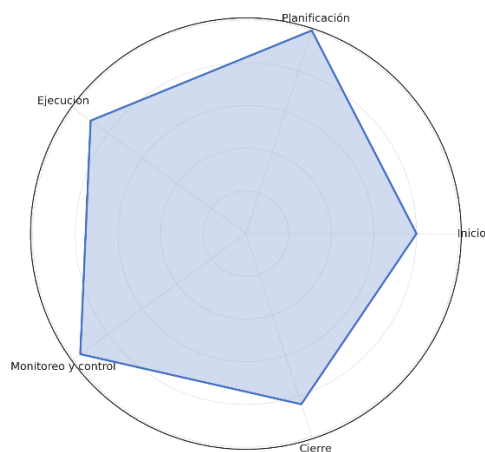
<b>Competencia</b>	<b>Actividad</b>
Inicio	Desempeñar la tarea de autorización y definición del alcance preliminar de un nuevo proyecto
Planificación	Desempeñar la tarea de definir y madurar el alcance del proyecto, desarrollar su plan de administración, e identificar y programar sus actividades
Ejecución	Desempeñar la tarea definida en el plan de administración del proyecto para lograr sus objetivos dentro del marco del alcance del proyecto

Monitoreo y control	Desempeñar la tarea de comparar el desempeño real con el desempeño planificado. Incluye el análisis de las variaciones, la evaluación de tendencias para generar mejoras en el proceso, la evaluación de posibles alternativas y la implementación de las acciones correctivas apropiadas según sea necesario.
Cierre	Desempeñar la tarea de culminar formalmente el proyecto y transferir el producto terminado a la operación, o de cerrar un proyecto cancelado.

*Nota:* Elaboración propia adaptado del modelo de desarrollo del gerente de proyecto. Fuente (Sina Moradi, Kalle Kähkönen, & Kirsi Aaltonen, 2020).

La figura 7 representa el nivel de desempeño asociado a cada competencia dentro del ciclo de vida del proyecto. Se observa un equilibrio entre las fases de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre, lo que evidencia una adecuada articulación de las capacidades técnicas y estratégicas del gestor. Este análisis visual permite identificar fortalezas y oportunidades de mejora en la gestión integral de proyectos.

**Figura 7** Nivel de desempeño por competencia en la gestión de proyectos.



*Nota:* Elaboración propia adaptado del modelo de desarrollo del gerente de proyecto. Fuente (Sina Moradi, Kalle Kähkönen, & Kirsi Aaltonen, 2020).

La gestión de proyectos implica planificar, delegar, monitorear y controlar todos sus aspectos, así como motivar a los miembros del equipo, para alcanzar los objetivos dentro del desempeño esperado y generar los beneficios proyectados (Project Management Institute

(PMI), 2021). Los recursos organizativos (incluyendo los de TI) se presentan hoy como predictores fundamentales del desempeño empresarial y fuentes de ventaja competitiva cuando son estratégicamente gestionados (Bharadwaj, 2000). Además, la teoría del principal-agente sigue siendo relevante para entender conflictos de intereses cuando quienes detentan autoridad toman decisiones en nombre de otros; problemas que emergen de la asimetría de información, supervisión imperfecta y objetivos divergentes entre agentes y principales (Musawir, 2024). En estudios contemporáneos, Besner y Hobbs documentan variaciones significativas en el uso de herramientas, prácticas y técnicas de gestión entre diferentes tipos de proyectos, lo que sugiere que la simple adopción de buenas prácticas no garantiza uniformidad de desempeño (Besner, 2012). En cuanto al gobierno de TI, se define como la capacidad de la alta dirección para formular y ejecutar la estrategia de TI a través de estructuras y procesos organizacionales que alineen comportamientos con metas organizativas (Bradley, 2012), lo cual coincide con hallazgos recientes que señalan que un buen gobierno de TI modera positivamente la relación entre características directivas y continuidad operativa, especialmente en contextos de crisis como la pandemia (Almaqtari, Farhan, Al-Hattami, & Elsheikh, 2023). Finalmente, investigaciones recientes señalan que déficits en planificación, respaldo de la alta dirección y elaboración de un sólido caso de negocios siguen siendo causas importantes de fracaso en los proyectos de TI (Alsabawy & Albarzanji, 2021).

En las organizaciones orientadas a proyectos, la prominencia de ciertos actores surge con frecuencia de dificultades en la coordinación jerárquica, tanto en empresas privadas como en entidades estatales. Los gerentes de portafolio suelen adoptar una perspectiva accionarial al decidir sobre la aceptación de proyectos, priorizando los intereses de propietarios o accionistas (Butler, 2022). La medición del éxito de un proyecto está fuertemente influida por la percepción de los stakeholders respecto a los beneficios esperados y por su grado de participación en el proyecto (Prebanić, K. R. & Vukomanović, M., 2023). Según Shenhar, los proyectos deben alinearse como parte integral de la estrategia organizacional para aportar valor a largo plazo

---

(Shenhar & Dvir, 2001). Una gestión de proyectos sistemática que incluya métodos, herramientas y modelos estandarizados permite institucionalizar buenas prácticas, lo que posibilita que competencias clave puedan ser almacenadas, transferidas y aplicadas en distintos tiempos, espacios y contextos (Carvalho, Patah, & Bido, 2015). Además, el empoderamiento, la autogestión y una comprensión compartida de las habilidades requeridas legitiman y regulan quién lidera en cada fase del proyecto (Drouin, 2021). Cuando los objetivos y la visión de la empresa están claramente definidos, estos deben traducirse en requerimientos del sistema de información para que, al concluir la implementación, se satisfagan las expectativas organizacionales (Chari, 2018). Finalmente, la selección de portafolios de proyectos y la administración de los proyectos escogidos constituyen actividades recurrentes y fundamentales para muchas organizaciones (Suvari S. K., 2023).

A pesar de que muchos proyectos de tecnologías de la información (TI) se han implementado con éxito, lograr un éxito repetible continúa siendo un desafío considerable (Thibodeau, 2017). Estudios recientes muestran que, en el sector público, incluso cuando se aplican metodologías formales, se externalizan servicios o se adoptan programas software robustos, los problemas persisten en proyectos TI de gran escala (Mickoleit, 2024). En este contexto, la alineación entre la estrategia de TI y la estrategia de negocio o servicio aparece como factor clave para mejorar tanto la eficiencia operativa como la eficacia del servicio (O'Higgins, 2023). Otra línea de investigación advierte sobre el riesgo de confiar excesivamente en informes de estado favorables, pues estos pueden encubrir desviaciones críticas en el desempeño real frente a los objetivos estratégicos (Musawir, A. U.; Abd-Karim, S. B.; Danuri, M. S. M., 2020). Una vez que una estrategia de TI está establecida, es esencial evaluar los riesgos, revisar los recursos disponibles, medir el desempeño y comparar los resultados con los objetivos, de modo que se puedan reorientar actividades o incluso modificar los objetivos cuando sea necesario estratégicos (Musawir, A. U.; Abd-Karim, S. B.; Danuri, M. S. M., 2020). La gobernanza del proyecto desempeña un papel fundamental al constituir un mecanismo

---

estructurado que vincula los resultados del proyecto con la estrategia organizacional y asegura que los proyectos generan valor para la organización patrocinadora estratégicos (Musawir, A. U.; Abd-Karim, S. B.; Danuri, M. S. M., 2020). En la gerencia de proyectos tecnológicos, innovaciones como la computación en la nube, inteligencia artificial y analítica avanzada están transformando radicalmente los modelos tradicionales de entrega de productos y servicios. La gestión de proyectos tecnológicos requiere que sean planificados, ejecutados, monitoreados y controlados por equipos especializados, lo que introduce complejidades más allá de las meramente técnicas. Uno de los retos principales consiste en traducir las necesidades del negocio y las demandas de los stakeholders en soluciones viables; al mismo tiempo, la adopción de servicios en la nube presenta tanto retos de gobernanza, costos y dependencia de proveedores, como oportunidades de escalabilidad y eficiencia si se gestiona adecuadamente. Los gerentes de proyecto juegan un rol central en estas fases de monitoreo y control, particularmente respecto al cumplimiento de criterios como tiempo, costo y calidad, y también en mitigar factores organizacionales, sociales o culturales que pueden generar inestabilidad (Castro, Barcaui, Bahli, & Figueiredo, 2022). Además, estudios recientes evidencian que los sesgos optimistas de los gerentes, especialmente en los reportes de estado de proyecto, pueden tener efectos significativos sobre el desempeño real del proyecto: en algunos casos mejoran la moral y motivación del equipo, en otros pueden generar expectativas poco realistas que luego se traducen en incumplimientos o escalada de compromisos erróneos (Kaufmann, C. & Kock, A., 2023). Finalmente, las competencias blandas como inteligencia emocional, confiabilidad y satisfacción del equipo emergen como factores que complementan las habilidades técnicas, contribuyendo de forma decisiva al éxito del proyecto (Castro, Barcaui, Bahli, & Figueiredo, 2022).

La cultura organizacional se manifiesta a través de patrones de comportamiento, símbolos, modismos y otras formas visibles de conducta compartida, lo que afecta directamente la adopción de tecnologías de información dentro de las organizaciones (Njuguna,

---

M., Alkizim, A., & Wanyona, G., 2024). Los gerentes deben reconocer que la cultura no es estática: evoluciona mediante las relaciones sociales y las prácticas cotidianas internas (Wiese, S. A., Lehmann, J., & Beckmann, M., 2024). En el entorno tecnológico, puede hacerse una distinción entre gerentes de proyectos técnicos y funcionales: los primeros se ocupan de elementos técnicos evaluación de riesgos técnicos, resolución de fallos tecnológicos, comunicación con audiencias no técnicas mientras que los segundos gestionan principalmente los aspectos no técnicos como planificación de tiempos y costos, recopilación de requisitos y pruebas de usabilidad. Aunque esta distinción aparece en la literatura práctica, hay poca investigación reciente que analice empíricamente las diferencias de desempeño entre estos tipos de gerentes en proyectos de TI. El ciclo de vida de un proyecto tecnológico generalmente comprende fases tales como iniciación, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre, y se reconoce en estudios recientes como estructura clave para tomar decisiones y alinear expectativas de stakeholders en cada fase (Chen, Martins, Zhang, & Dong, 2025). Según el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024), la vigilancia tecnológica es un proceso sistemático, selectivo y continuo que implica la recopilación de información tanto del entorno externo como interno de una organización, centrado en aspectos científicos y tecnológicos relevantes para un sector específico. Esta información es posteriormente filtrada, analizada, y comunicada a los tomadores de decisiones, con el fin de transformar los datos en conocimiento estratégico que permita anticipar cambios y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones.

En el contexto de la gestión de proyectos, un proyecto complejo se caracteriza por la presencia de múltiples elementos interdependientes que interactúan en un entorno dinámico, donde la incertidumbre afecta tanto los objetivos como los métodos de ejecución (Gransberg, 2013). En este sentido, Joslin y Müller propusieron un modelo integral para medir el éxito de los proyectos, que equilibra factores técnicos y humanos, organizando 25 variables en cinco dimensiones clave: eficiencia del proyecto, beneficios organizacionales, impacto del proyecto,

---

satisfacción de los interesados y potencial futuro (Joslin, R. & Müller, R., 2016). En el ámbito de la gobernanza de tecnologías de la información (TI), se entiende que ésta representa la capacidad organizativa ejercida por el consejo directivo, la alta dirección y la gestión de TI para controlar la formulación e implementación de la estrategia de TI, garantizando que la organización utilice los recursos de TI adecuados para alinearse y servir a la estrategia empresarial (Van Grembergen & De Haes, 2004). Estudios más recientes amplían esta definición señalando que la gobernanza de TI incluye no solo estructuras y procesos de liderazgo, sino también mecanismos relacionales entre las partes interesadas para asegurar alineación estratégica, generación de valor, gestión de riesgos y desempeño de la organización (Karataş, M. H. & Çakır, H., 2024).

En el enfoque experimental y de acuerdo con los resultados de la XVI Encuesta de gerencia de proyectos de TI, diligenciada por 463 ingenieros de sistemas, quienes cumplían los roles de líderes de proyecto, miembros de equipo y otros interesados, en el periodo comprendido entre 2017 y 2018, se encontró que la participación porcentual para los "miembros de equipo" se dividió de acuerdo con los roles adicionales incluidos desde 2017, Líder Funcional y Líder Técnico. En total el 82% de los encuestados ejercen posiciones de coordinación, dirección o liderazgo. Los proyectos son de naturaleza variada, aunque dominados por los proyectos de desarrollo de Software (35%) y la implementación de servicios de TI (22%), existen otro tipo de proyectos como infraestructura de TI (15%) y consultoría (13%) que capturan una muestra importante de la encuesta. En la industria tecnología es notoria la dificultad que tienen quienes lideran proyectos de estimar correctamente la duración de estos. Cerca del 75% de los proyectos se planea en una duración igual o menor a un año y solo el 50% lo logra - es decir 1 de 3 proyectos planeados en un año o menos, será completado después de más de un año, y los proyectos planeados a dos años o más, crecerán en un 50% entre lo planeado y lo real. Se registra una desviación en la duración del cronograma entre el 3% y 10% para el 63% de los proyectos registrados en la encuesta. Las herramientas son

---

clasificadas de acuerdo con su función, el caso de negocio y el análisis de Beneficio / Costo son líderes cercanos al 50%, pero evidencian que son evaluaciones más subjetivas que formuladas. En otro caso, indicadores más claros como el valor presente neto y la tasa interna de retorno tendrían mayor participación. Sobre los indicadores de seguimiento y control, el Índice de desempeño del cronograma - en muchos casos medido de forma simple como % de avance - refuerza la hipótesis sobre los contratos de costo fijo entre proveedor y cliente que desconocen en la gestión el Índice de desempeño de costos. Sobre las herramientas de software para la gestión de proyectos, y sin ninguna sorpresa, los encuestados tienen preferencia en las herramientas Microsoft Project con el 77.44%, hoja de cálculo con el 59.76% y software libre con el 13.72% (Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (ACIS), 2018). El buen equipo hace el trabajo pesado y es el encargado de crear un producto viable que la organización puede usar para obtener valor. El buen patrocinador le da vida a un proyecto; mejorar las habilidades del patrocinador es el factor número uno de éxito del proyecto (Johnson, J. & Mulder, H, 2020).

En Colombia, los resultados de la XX Encuesta de Gerencia de Proyectos de TI realizada por la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (ACIS), con la participación de 125 ingenieros de sistemas, muestran que las herramientas más utilizadas son Microsoft Project (72,50 %), hoja de cálculo (71,25 %), software libre (20,00 %), Atlassian Jira (18,75 %) y Azure DevOps (17,50 %), esta última con un crecimiento reciente en su adopción. Asimismo, el caso de negocio y el análisis costo-beneficio continúan siendo los métodos preferidos para decidir si un proyecto debe ejecutarse o no. Estos hallazgos coinciden con tendencias internacionales recientes que identifican la coexistencia de herramientas tradicionales con plataformas colaborativas y soluciones ágiles, así como la importancia creciente del valor de negocio en la decisión de inversión en proyectos de TI (Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (ACIS), 2022).

---

Históricamente, el modelo on-premise o interno implicaba que los equipos de TI adquirieran servidores físicos, almacenamiento y dispositivos de red de fabricantes como Dell, Seagate o Cisco, instalándolos en centros de datos corporativos o en instalaciones co-ubicadas gestionadas por terceros como Digital Realty o Equinix. En este modelo, la empresa asumía los gastos de infraestructura (espacio, refrigeración, energía, conectividad) y frecuentemente sobre provisionaba capacidad para cubrir picos de demanda. Las implementaciones on-premise permiten rastrear componentes físicos, medir características operativas como consumo de potencia y refrigeración, así como aplicar factores de emisión basados en la combinación eléctrica local, lo que facilita calcular la huella ambiental de la infraestructura (Mytton, 2020). Sin embargo, con la proliferación de ambientes cloud y servicios virtualizados, esas métricas se vuelven menos accesibles para los usuarios finales, lo que complica la evaluación directa del impacto ambiental bajo estándares como el Greenhouse Gas Protocol. Con la creciente adopción de servicios de nube pública ofrecidos por proveedores como Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP) y Microsoft Azure, muchas cargas de trabajo se desplazan desde infraestructuras on-premise hacia la nube. Este cambio complica la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas, ya que los clientes a menudo carecen de visibilidad sobre el consumo energético real (por ejemplo, cuántos servidores físicos sostienen sus aplicaciones, o qué proporción de la energía asignada corresponde a CPU, almacenamiento o redundancia). Aunque algunos proveedores están desarrollando APIs o dashboards de emisiones para sus usuarios, la información detallada sigue siendo limitada y no siempre transparente. Estimar de forma precisa exige asumir equivalencias en disponibilidad, redundancia y rendimiento entre la nube y las soluciones locales, así como contar con datos específicos de emisiones operativas y embebidas (Schneider, I. & Mattia, T., 2024). Con una creciente conciencia pública sobre los problemas ambientales y una expansión de los marcos regulatorios que exigen reporte obligatorio de emisiones (Scope 1, 2 y 3), los clientes de servicios de nube deberían poder calcular la huella

---

ambiental de su infraestructura tecnológica como si ésta operara en modalidad on-premise (Schneider, I. & Mattia, T., 2024). Guías como la del *Greenhouse Gas Protocol* asumen que ciertas métricas - recuento de servidores, PUE (Power Usage Effectiveness), capacidad instalada - están disponibles para realizar informes precisos (GHG Protocol ICT Sector Guidance, 2023). Sin embargo, investigaciones recientes muestran que los proveedores de nube pública raramente exponen esta información en detalle (Schneider, I. & Mattia, T., 2024), lo que dificulta que los clientes verifiquen comparaciones fiables entre ambientes on-premise y en la nube.

### **2.5.1. Líneas base de un proyecto: alcance, tiempo y costo**

En la dirección de proyectos es fundamental distinguir entre la línea base (baseline) y los planes subsidiarios, aunque ambos sean componentes esenciales del plan de dirección del proyecto. La línea base - integrando las líneas base de alcance, tiempo y costo, junto con la línea base de medición del desempeño - representa la versión aprobada y congelada del plan, utilizada como punto de referencia para medir y controlar el desempeño real del proyecto (Project Management Institute (PMI), 2021). Cualquier desviación entre el desempeño real y la línea base exige un análisis de varianza y, de ser necesario, una solicitud formal de cambio. En consecuencia, la línea base define desde el inicio qué se va a lograr, cuándo y con qué presupuesto. Estudios recientes también empiezan a incorporar incertidumbres aleatorias en la definición de la línea base de cronograma, lo que matiza la noción clásica del punto de referencia rígido (Acebes, Poza, González-Varona, Pajares, & López-Paredes, 2024).

A diferencia de la función estática de la línea base, los planes subsidiarios constituyen documentos con carácter normativo y evolutivo que describen detalladamente cómo se gestionará un área específica del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Por ejemplo, el Plan de Gestión del Alcance especifica el proceso para recopilar, definir y controlar el alcance; el Plan de Gestión del Costo define las reglas, métricas y procedimientos para la estimación y control del gasto. Planes como los de Comunicaciones o el de Riesgos establecen las

---

metodologías, herramientas y procedimientos que el equipo empleará durante la ejecución. En este sentido, mientras que la línea base representa el objetivo que debe controlarse, los planes subsidiarios funcionan como el manual operativo para alcanzar ese objetivo (Project Management Institute (PMI), 2021).

Tradicionalmente, la Gerencia de Proyectos de Tecnologías de la Información (TI) se ha enfocado en entregar sistemas, software e infraestructura dentro de los límites de alcance, tiempo y costo. Actualmente, sin embargo, este paradigma requiere ser extendido bajo el prisma del Desarrollo Sostenible (DS), como lo sugieren autores clásicos y recientes (Silvius, A. G. & Schipper, R., 2022). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU exigen que la gerencia de proyectos de TI trascienda la métrica del triple constante tradicional, incorporando impactos sociales, ambientales y económicos. Una definición más integral sostiene que la gerencia de proyectos de TI es la disciplina responsable de planificar, ejecutar y cerrar iniciativas tecnológicas cuyo proceso y resultados contribuyan al equilibrio de los tres pilares de la sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida, tanto del proyecto como de su producto final (Soares, Fernandes, & Santos, 2024).

La gestión de proyectos de Tecnologías de la Información (TI) sostenible exige incorporar sistemáticamente el análisis de la Triple Línea Base (Triple Bottom Line: Personas, Planeta y Prosperidad) para evaluar no sólo los costos financieros del desarrollo, sino también los impactos sociales y ambientales. En el ámbito de TI, esto implica, por ejemplo, calcular las emisiones de carbono asociadas a centros de datos y software, minimizar el e-waste, y adoptar prácticas que aseguren inclusión digital, equidad en el acceso, y protección de la privacidad de los datos. Estudios recientes muestran cómo compañías de software adaptan los alcances del protocolo de gases de efecto invernadero para medir sus emisiones (Sipilä, A., Partanen, L. & Porras, J., 2024), y cómo servicios web distribuidos aprovechan programación sensible al carbono para reducir su huella sin comprometer el rendimiento (Souza, Jasoria, Chakrabarty, & Irwin, 2024). Así, el gerente de proyectos de TI se convierte en un agente sociotécnico que

---

integra métricas de responsabilidad social corporativa en los entregables, transformando la visión de TI desde simplemente cumplir con la “triple restricción” hacia generar valor sostenible en todo el ciclo de vida del producto.

Para alinear la gerencia de proyectos de TI al desarrollo sostenible, el rol del Project Manager debe evolucionar hacia un liderazgo ético y situacional que - informe de métodos metodológicos (predictivo, adaptativo, híbrido) - también se base en valores, priorizando impactos a largo plazo sobre beneficios inmediatos. Estudios recientes muestran que los valores personales del gerente tienen una correlación significativa con su motivación para incorporar prácticas sostenibles en proyectos (Silvius, G., 2023). En el contexto de TI, esto se concreta en decisiones como seleccionar proveedores con prácticas éticas en su cadena de suministro, diseñar algoritmos que reduzcan sesgos y promover transparencia, y optimizar la eficiencia energética tanto del hardware como del software (Zaman, Jadoon, & Khan, 2024). En resumen, la gerencia de proyectos de TI sostenible se define por la integración de gobernanza, ética y valor con impacto positivo en el ciclo de vida del proyecto y del producto final.

### **2.5.2. Desafíos de actualidad en la gerencia de proyectos de tecnología**

En los últimos cinco años, la gestión de proyectos ha experimentado una transformación impulsada por la creciente volatilidad, incertidumbre y complejidad de los entornos empresariales. Tradicionalmente, los proyectos tecnológicos se han gestionado bajo un enfoque predictivo o en cascada, que privilegia una planificación inicial detallada y un estricto control del alcance desde el inicio (Project Management Institute (PMI), 2021). Sin embargo, evidencia reciente indica que este enfoque tiene limitaciones cuando los requisitos cambian frecuentemente o cuando la incertidumbre tecnológica es alta. Estudios en entornos VUCA (Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad, Ambigüedad) muestran que los métodos ágiles o híbridos mejoran el éxito del proyecto en escenarios con cambios frecuentes (De Moura, Carneiro, & Dias, 2023). Revisión sistemática en desarrollo de software resalta que la incertidumbre no solo surge de riesgos conocidos sino de factores emergentes que el modelo

---

predictivo no anticipa eficazmente (Zhang & Antwi-Afari, 2021). En consecuencia, en la disciplina se debate cada vez más que ningún ciclo de vida único puede satisfacer las demandas de portafolios de proyectos cada vez más diversos y dinámicos, lo que impulsa la adopción de modelos híbridos y adaptativos.

La séptima edición de la Guide to the Project Management Body of Knowledge (Project Management Institute (PMI), 2021), representa un cambio significativo frente a las ediciones anteriores: en lugar de estructurarse predominantemente en procesos, la guía ahora se articula en torno a principios y dominios de desempeño. Uno de los cambios más relevantes es el reconocimiento explícito del dominio enfoque de desempeño y ciclo de vida, que incorpora tres perspectivas de ciclo de vida fundamentales: predictivo, adaptativo (o ágil/iterativo/incremental) e híbrido. Esta inclusión formaliza la validez y legitimidad de enfoques adaptativos e híbridos que antes se gestionaban mediante guías y suplementos separados. Estudios recientes muestran que esta integración es esencial para que los gerentes de proyecto elijan y modifiquen la estrategia de entrega conforme al contexto particular de cada proyecto. Por ejemplo, análisis en la industria de la construcción evidencia que los dominios de ciclo de vida y adaptabilidad son percibidos como críticos para el desempeño del proyecto (Faraji, Rashidi, Perera, & Samali, 2022), y reseñas sistémicas apuntan al crecimiento de modelos híbridos como respuesta a la diversidad y dinamismo en los portafolios de proyectos (Krupa, M.; Hajek, J., 2022).

El auge de los enfoques adaptativos se justifica por su capacidad para entregar valor de forma iterativa e incremental, posibilitando retroalimentaciones tempranas y una elevada respuesta al cambio, lo que resulta especialmente útil en proyectos de desarrollo de software e innovación. Más aún, la literatura reciente ha enfocado sustancialmente el modelo híbrido, definido como una combinación optimizada de elementos predictivos y adaptativos. Esta perspectiva refleja fielmente la realidad de numerosos proyectos contemporáneos, en los que algunas fases o componentes se benefician más de un enfoque predictivo, mientras que otros

---

requieren agilidad. Investigaciones como Customising Hybrid Project Management Methodologies (Mirzaei, Mabin, & Zwikael, 2024) y la revisión sistemática de Krupa & Hajek destacan que la habilidad para concebir y gestionar estos modelos híbridos se ha convertido en una competencia crítica para el gerente de proyecto moderno (Krupa & Hajek, 2024).

El ciclo de vida híbrido constituye una innovación conceptual relevante en la dirección de proyectos, al superar la dicotomía tradicional entre los enfoques waterfall y ágil. Según estudios recientes, la adopción de enfoques híbridos contribuye a mitigar riesgos derivados de la incertidumbre al combinar la definición clara de entregables mayores (predictivo) con capacidad de adaptación mediante iteraciones o sprints para los detalles y requisitos menores (adaptativo). No obstante, su implementación presenta obstáculos significativos, especialmente en lo que respecta a la integración cultural y operativa de equipos acostumbrados a metodologías distintas. Investigaciones recientes como Approaches for Hybrid Scaling of Agile in the IT Industry (Almeida & Blaskovics, 2024) o el modelo híbrido aplicado en proyectos de infraestructura vial, señalan la necesidad de establecer herramientas de gobernanza sólidas y modelos de escalado que permitan transiciones fluidas entre componentes predictivos y adaptativos dentro de un mismo proyecto (Senić, Simić, Dobrodolac, & Stojadinović, 2025).

En resumen, la incorporación explícita de las perspectivas de ciclo de vida predictivo, adaptativo e híbrido en la guía PMBOK® 7 no constituye simplemente una actualización técnica del estándar, sino un reposicionamiento estratégico de la disciplina. Desde su publicación en 2021, esta evolución ha ido consolidándose a través de estudios empíricos que muestran que la madurez en gerencia de proyectos depende cada vez más de la capacidad de adaptar la metodología al contexto y al valor a entregar (Egie, Hardian, & Rahardjo, 2024). Los investigadores del tema indican que el marco de principios y dominios que propone el PMI impulsa un mayor nivel de madurez organizacional, exigiendo que los profesionales desarrollen un juicio situacional más agudo, en lugar de adherirse rígidamente a procesos predefinidos. Esta flexibilidad, argumentan diversos autores, garantiza que la dirección de proyectos siga

---

siendo relevante y eficaz en entornos empresariales que demandan entrega de valor continua, resiliencia y adaptación al cambio (Grushka & Holzmann, 2015).

### **2.5.3. Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos**

Como parte del desarrollo sostenible - medido a través de los criterios ambiental, social y de gobernanza corporativa - la gestión de proyectos juega un papel esencial al proporcionar herramientas para tomar decisiones sobre qué proyectos desarrollar, asegurando su alineación con la estrategia de sostenibilidad organizacional. En particular, la incorporación de criterios ESG (Environmental, Social, Governance) en la selección, ejecución y evaluación de proyectos permite no sólo mitigar riesgos ambientales y sociales, sino también fortalecer la gobernanza, mejorar la transparencia y responder a las expectativas de stakeholders reguladores e inversores (Lasaite, 2024). De hecho, estudios recientes muestran que la gobernanza corporativa no solo actúa como antecedente clave para las prácticas internas y externas de sostenibilidad, sino que también media en cómo dichas prácticas impactan en el desempeño económico y en la resiliencia del proyecto. Por lo tanto, es imperativo que los gerentes de proyecto incorporen mecanismos de gobierno robustos, análisis ambiental riguroso y responsabilidad social activa para que los portafolios de proyectos contribuyan verdaderamente al desarrollo sostenible.

Los proyectos constituyen una estructura clave para organizar responsabilidades, definir el alcance, tiempo y costo, y también actúan como fuente primaria de información para incorporar la sostenibilidad en sus dimensiones económica, social y medioambiental. Además, permiten una definición de sostenibilidad que abarque horizontes de corto y largo plazo, así como visiones locales, regionales y globales. Cuando los proyectos se implementan con un enfoque de sostenibilidad, demuestran gobernanza efectiva y permiten a los gerentes de proyectos rendir cuentas ante las partes interesadas. Asimismo, los gestores de proyecto que adoptan prácticas sostenibles tienden a minimizar el consumo de recursos, reducir costos, maximizar la eficiencia y atraer inversionistas y clientes. Estudios recientes han encontrado que

---

la consideración de criterios ESG (Environmental, Social, Governance), la gestión de riesgos ambiental y social, y la participación de stakeholders actúan como mediadores clave para mejorar el desempeño sostenible de los proyectos (Suvvari, S. K. & Sawalkar, R., 2024).

Para analizar la sostenibilidad en la gerencia de proyectos, no solo debe ser medida desde el punto de vista económico, social y ambiental, las principales dimensiones que se deben entender para el impacto de la sostenibilidad en la gerencia de proyectos se detallan en la tabla 4 (Silvius A.J.G., 2014).

Para analizar la sostenibilidad en la gestión de proyectos no basta medir las dimensiones económica, social y ambiental: es necesario identificar y comprender otras dimensiones clave que condicionan su impacto en la gerencia de proyectos. Por ejemplo, estudios recientes han identificado dimensiones como políticas corporativas y prácticas organizacionales, gestión de recursos, orientación al ciclo de vida, participación de los grupos de interés (stakeholders) y aprendizaje organizacional como dominios esenciales para integrar sostenibilidad de forma efectiva en los proyectos (Suvvari, S. K. & Sawalkar, R., 2024). En la Tabla 4 se presentan estas dimensiones definidas bajo una visión global de las organizaciones en un mundo interconectado, lo que permite apreciar no sólo los criterios tradicionales del triple resultado (económico, social, ambiental), sino también factores organizativos y estratégicos que influyen en la sostenibilidad a corto, mediano y largo plazo.

**Tabla 4** *Visión global de la sostenibilidad.*

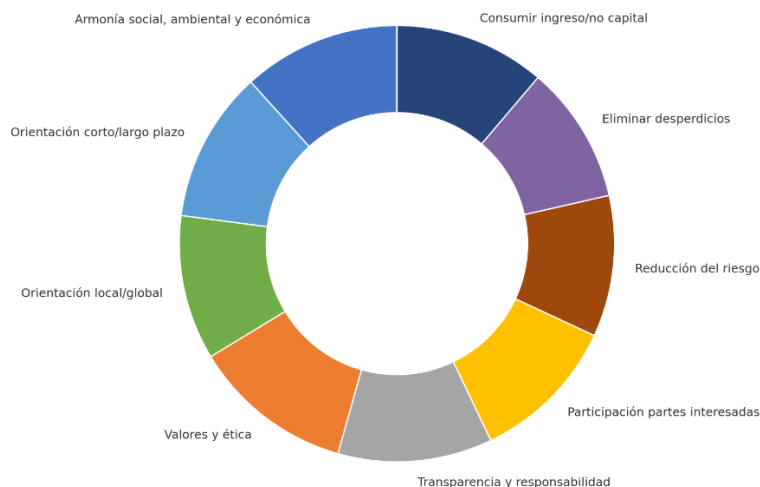
<b>Dimensión</b>	<b>La organización está inmersa en:</b>
Armonía entre los intereses sociales, medioambientales y económicos	Se deben satisfacer los tres pilares sobre los que se sustenta la sostenibilidad: sociedad, medioambiente y economía.
Orientación a corto plazo y a largo plazo	Se tiene que preocupar por su visión a corto plazo y a largo plazo, y no solo focalizarse en sus logros inmediatistas.
Orientación local y global	La globalización afecta de forma directa o indirecta a las organizaciones, haciendo que estas estén influenciadas por diferentes partes interesadas competidores, proveedores potenciales y clientes.
Valores y ética	Los valores tienen que ser sustentados por los líderes de las organizaciones, ya que estos transmitirán estos valores a sus subordinados en todas aquellas peticiones que encomienden

Transparencia y responsabilidad	Las organizaciones transparentes dan a conocer sus políticas, decisiones y acciones, incluyendo el resultado, que sus actividades provocan en el medioambiente y en la sociedad.
Participación de las partes interesadas	Considerar y respetar los potenciales intereses de las partes interesadas es la clave de la sostenibilidad.
Reducción del riesgo	Está basado en las interacciones sociales medioambientales, la complejidad, indeterminación, irreversibilidad y no linealidad para conseguir el nivel en el que seamos capaces de gestionar el plan de riesgos.
Eliminar desperdicios	Aplicar el concepto Lean alineado a los siete desperdicios: sobreproducción, esperas transportes, procesos inapropiados, inventarios innecesarios, movimientos innecesarios y defectos
Consumir el ingreso y no el capital	Establecer medios mediante los cuales la naturaleza sea capaz de producir o generar recursos o energía de forma permanente. Para ser sostenibles las compañías no solo se tienen que preocupar de su capital económico sino de su capital social y medioambiental.

*Nota:* Elaboración propia adaptado del modelo de sostenibilidad. Fuente: (Suvvari, S. K. & Sawalkar, R., 2024).

La figura 8, sintetiza las principales dimensiones que sustentan la sostenibilidad organizacional, reflejando un equilibrio entre los ámbitos social, ambiental y económico. Se observa que los valores éticos, la transparencia y la armonía entre intereses representan pilares fundamentales para el desarrollo sostenible. Desde una perspectiva doctoral, esta representación evidencia una comprensión integral del concepto de sostenibilidad, articulando factores estratégicos, éticos y operativos que fortalecen la madurez organizacional.

**Figura 8 Dimensiones de la sostenibilidad organizacional.**



*Nota:* Elaboración propia adaptado del modelo de sostenibilidad. Fuente: (Suvvari, S. K. & Sawalkar, R., 2024).

Para analizar la sostenibilidad en la gestión de proyectos no es suficiente con las dimensiones económica, social y ambiental; una empresa requiere esfuerzos dirigidos a desarrollar tareas que permitan medir las actividades y el entorno de forma sistemática, particularmente en un contexto globalizado. Estas tareas incluyen la adopción de estándares y metodologías para planificar, ejecutar, medir y cerrar proyectos con sostenibilidad integrada en todo su ciclo de vida. Por ejemplo, prácticas como el establecimiento de objetivos específicos de sostenibilidad, estructura de desglose de sostenibilidad, registro de riesgos sostenibles, evaluación de impactos ambientales y sociales y lecciones aprendidas con enfoque sostenible se han identificado recientemente como esenciales para asegurar que los proyectos contribuyan eficazmente a los objetivos de desarrollo sostenible (Soares, I.; Fernandes, G.; Santos, J. M. R. C. A., 2024).

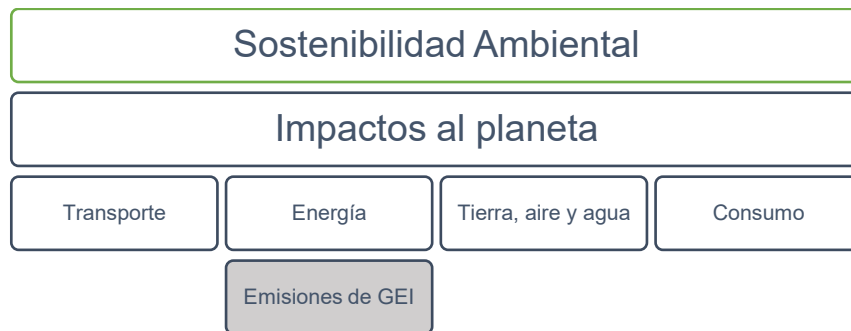
La estandarización de proyectos ha cobrado cada vez mayor relevancia en las organizaciones, pues permite medir de manera eficiente el desempeño de los proyectos alineados con los objetivos corporativos. Sin embargo, aún existe una carencia en plantear medidas concretas para cuantificar el impacto de la sostenibilidad ambiental, especialmente en lo que se refiere a la huella de carbono, en las diferentes áreas de la gestión de proyectos. Para lograr una medición adecuada, se requieren esfuerzos orientados a implementar estándares y metodologías aplicables durante todas las fases del proyecto - planificación, ejecución, seguimiento y cierre - que incorporen métricas ambientales robustas (emisiones directas e indirectas, factores de ciclo de vida). Estudios recientes han desarrollado marcos prácticos para el cálculo de huella de carbono corporativa en industrias tales como la fabricación de alfombras, mostrando cómo identificar fuentes de emisión, recolectar datos, y asegurar transparencia y trazabilidad en los informes (Climatic Change, 2025). También se han observado movimientos en el sector de la construcción para estandarizar los reportes de carbono mediante normas internacionales como ICMS, permitiendo decisiones informadas sobre selección de materiales, procesos y optimización ambiental en proyectos (Frontiers in

---

Sustainable Energy Policy, 2025). En Colombia, aunque hay avances, las empresas aún enfrentan retos para integrar dichas mediciones ambientales de manera sistemática en sus proyectos debido a barreras como la falta de normativa específica, capacidades técnicas y datos confiables.

Como parte del proceso de investigación, se realizó un estado del arte centrado específicamente en la categoría P5 Standard de sostenibilidad ambiental, en la subcategoría Energía, y en el tipo de elemento “emisiones de GEI por la energía usada” (Figura 9). Este comparativo analiza cómo los estándares de proyectos incorporan acciones concretas sobre sostenibilidad ambiental desde la perspectiva del gerente de proyecto y el desarrollo del proyecto. Se contrastó la literatura más reciente con marcos como el GPM P5 (Green Project Management, 2019) y estándares internacionales como ISO 14064 y ISO 50001, para observar de qué modo se mide la huella de carbono energética, qué metodologías se usan, qué fases del proyecto son cubiertas, y qué barreras se encuentran en la implementación (Wang, Z. & Fan, Z., 2024).

**Figura 9** Detalle del impacto de sostenibilidad ambiental en la guía P5™.



Fuente: Adaptado del estándar P5™ de GPM. (Green Project Management, 2019).

En la Tabla 5 se presenta un listado de estándares internacionales de gestión de proyectos, indicando la organización que los administra y el país o región de origen. Entre los estándares incluidos destacan: P5 (segunda versión) promovido por GPM Global, PMBOK® 7ª edición del Project Management Institute, ICB-4 de la International Project Management

Association, PM<sup>2</sup> versión 3.0.1 de la Comisión Europea y ISO 21502:2020 bajo el organismo ISO. Este cuadro sirve para situar comparativamente la procedencia de cada estándar y comprender cómo distintos entornos geográficos e institucionales han influido en su desarrollo.

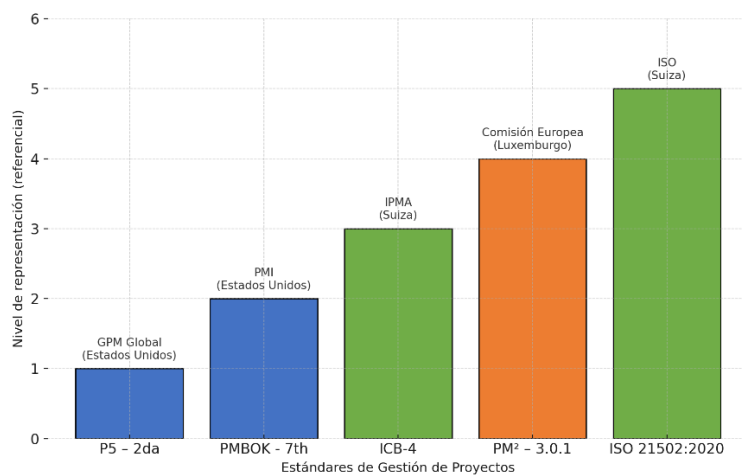
**Tabla 5** Estándares de la gerencia de proyectos.

Estándar	Organización	País
P5 – 2da	GPM Global	Estados Unidos
PMBOK - 7th	PMI	Estados Unidos
ICB-4	IPMA	Suiza
PM <sup>2</sup> – 3.0.1	Comisión Europea	Luxemburgo
ISO 21502:2020	ISO	Suiza

*Nota:* Elaboración propia adaptado de los estándares de sostenibilidad.

La figura 10 presenta una comparación visual de los principales estándares internacionales en gestión de proyectos, evidenciando su diversidad geográfica e institucional. Destaca la concentración de marcos metodológicos originados en Estados Unidos y Suiza, lo que refleja su liderazgo histórico en la estandarización de buenas prácticas. Esta representación permite comprender la influencia de distintos organismos, como PMI, IPMA, ISO y la Comisión Europea en la consolidación de enfoques globales de dirección de proyectos.

**Figura 10** Principales Estándares Internacional de Gestión de Proyectos.



*Nota:* Elaboración propia adaptado de los estándares de sostenibilidad.

### **2.5.3.1. Green Project Management - Estándar P5™**

El estándar P5™ para la sostenibilidad en la dirección de proyectos fue desarrollado por Green Project Management (GPM) y propone un marco integral que integra los principios de desarrollo sostenible con la gestión de proyectos. Este estándar considera las cinco dimensiones - People, Planet, Prosperity, Product y Process - e incorpora temas como cambio climático, ética organizacional y responsabilidad social (Green Project Management, 2019). Recientemente, GPM ha actualizado el estándar a versiones más recientes que reflejan una mayor alineación con los estándares internacionales de desempeño sostenible y la integración de competencias en sostenibilidad (Project Management Institute (PMI), 2024).

Además, GPM ha promovido la evolución del P5 mediante la metodología estándar P5™ de GPM Global, también conocido como PRiSM (Projects integrating Sustainable Methods), es una herramienta clave para integrar la sostenibilidad en la gestión de proyectos. La versión 2.0 de este estándar se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y destaca la necesidad urgente de cambiar los patrones de consumo y producción. Según Global Footprint, "estamos viviendo de una manera que se consume más recursos de los que el planeta puede suministrar. A partir de 2019, estamos consumiendo recursos por valor de 1.7 planetas anualmente y según las tendencias actuales, esto aumentará a dos planetas para 2030" (Global Footprint Network, 2023). Este estándar proporciona directrices para alinear portafolios, programas y proyectos con la estrategia organizacional de sostenibilidad, enfocándose en los impactos ambientales, sociales y económicos de los procesos y entregables del proyecto (Green Project Management, 2019). Otros trabajos han analizado cómo técnicas de PRiSM se adaptan a distintos contextos nacionales, destacando que su principal desafío radica en la falta de herramientas normalizadas de medición y en la resistencia cultural interna a la sostenibilidad (Karlikowski, 2024).

En el estándar P5™ de Green Project Management, el director de proyectos debe identificar y evaluar los posibles impactos, tanto positivos como negativos, relacionados con la

---

sostenibilidad. Esta evaluación permite presentar información fundamentada a la alta dirección para respaldar la toma de decisiones informadas y una asignación efectiva de recursos, asegurando que los proyectos estén alineados con los objetivos organizacionales de sostenibilidad. El enfoque se centra en los impactos potenciales de las actividades, productos y resultados del proyecto, considerando sus efectos sobre las personas, el planeta y la prosperidad. En particular, las dimensiones de productos y procesos evalúan cómo las decisiones sobre las características del producto y las prácticas de gestión afectan estos tres pilares (Green Project Management, 2019). En este contexto, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono y metano, constituyen un indicador clave. Estas emisiones provienen directamente del consumo energético del proyecto, así como del transporte de bienes, materias primas y servicios adquiridos. Además, se consideran las emisiones derivadas de la distribución, operación y disposición final del producto generado por el proyecto (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021).

En la matriz de evaluación del estándar P5™ de Green Project Management (GPM), se requiere que el director de proyectos identifique y evalúe los impactos potenciales, tanto positivos como negativos, asociados con la sostenibilidad ambiental. Esta evaluación se realiza mediante una escala de Likert, permitiendo medir el grado de cumplimiento en términos comparativos, desde el mínimo (ausencia de medición de emisiones de gases de efecto invernadero, GEI) hasta el máximo (implementación de prácticas avanzadas de medición y mitigación). Sin embargo, el estándar no especifica herramientas o artefactos concretos para la medición de las emisiones de GEI, dejando a la interpretación del director de proyectos la selección de métodos y herramientas adecuados para este fin (Green Project Management, 2019).

Pese a su robustez conceptual, P5/PRiSM presenta limitaciones reconocidas: no prescribe métodos específicos para medir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de sus criterios, lo que deja al director de proyecto la opción de escoger la técnica más

---

adecuada; además, su adopción práctica aún es incipiente en muchas industrias. En la construcción, por ejemplo, los proyectos que intentan aplicar Green Project Management enfrentan barreras de cambio cultural, falta de competencias específicas y escasez de herramientas cuantitativas adecuadas (Leo, Fadilah, Nayuandika, Prayogo, & Prastyo, 2024).

Finalmente, es relevante señalar que la reciente alianza entre PMI y GPM busca integrar los activos de GPM - estándares, herramientas, certificaciones - dentro del ecosistema de PMI, lo que probablemente impulse la adopción de P5/PRiSM en la comunidad global de gestión de proyectos (Project Management Institute (PMI), 2025). Esto representa una oportunidad para que el estándar evolucione hacia versiones que incluyan indicadores cuantitativos más rigurosos, integración digital y adaptabilidad normativa.

### **2.5.3.2. *Project Management Body of Knowledge - PMBOK®***

El PMBOK® Guide, desarrollado por el Project Management Institute (PMI), ha experimentado una transformación significativa entre su sexta edición y la séptima, especialmente en su orientación conceptual y su aplicabilidad práctica. En la sexta edición, el enfoque era predominantemente procesal, basado en la clasificación de diez áreas de conocimiento y cinco grupos de procesos (Alcance, Tiempo, Costo, Riesgos), cada proceso definido mediante Entradas, Herramientas, Técnicas, y Salidas. Esta estructura resultaba muy prescriptiva y útil para proyectos predictivos tradicionales (Borkowska, 2023).

Por contraste, la séptima edición marca un cambio paradigmático hacia un enfoque centrado en principios y dominios de desempeño. En lugar de detallar procesos específicos, introduce doce principios (como “Administración”, “Valor”, “Adaptabilidad”, “Liderazgo”) y ocho dominios de desempeño (por ejemplo, Stakeholders, Entrega, Incertidumbre, Ciclo de vida) que orientan el comportamiento y la toma de decisiones en los proyectos según su contexto (PMExams, 2025). Este cambio permite una mayor flexibilidad, adaptabilidad y personalización de las prácticas según el tipo de proyecto (tradicional, ágil, híbrido), alejándose de una “receta única” de métodos (Hentihu, 2024). Además, la 7ª edición incorpora explícitamente un apartado

---

de Modelos, Métodos y Artefactos como catálogo de herramientas (por ejemplo, Kanban, diagramas, métricas) que pueden usarse en función del dominio de desempeño aplicable (Borkowska, 2023).

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, este cambio tiene implicaciones importantes: la edición 6, con su enfoque rígido por procesos, no fomenta explícitamente la integración de criterios ambientales o de emisión de GEI dentro de sus procesos, sino que deja esta responsabilidad a la personalización institucional. En cambio, la edición 7, al ser más orientada a principios y adaptabilidad, brinda un espacio más natural para incorporar valores como el valor para stakeholders, la resiliencia o la responsabilidad de los recursos, lo que puede facilitar la inclusión de temas de sostenibilidad en la gestión del proyecto. Sin embargo, esto requiere que los gestores de proyectos hagan un buen trabajo de adaptación del estándar y seleccionen cuidadosamente los métodos y artefactos que midan emisiones, huella de carbono u otros impactos ambientales - elementos que el PMBOK 7 no prescribe explícitamente.

Es decir, mientras la sexta edición ofrecía más estructura y predictibilidad, la séptima ofrece un marco más permeable a la innovación y adaptación sostenible, pero también requiere mayor juicio profesional.

Como principio fundamental en la dirección de proyectos, el gerente debe actuar como un administrador diligente, respetuoso y cuidadoso, que posea una visión holística de la gestión, integrando aspectos financieros, sociales, técnicos y de sostenibilidad ambiental. Esto implica gestionar de manera responsable, incluso fuera de la organización, el uso de materiales y recursos naturales asociados al proyecto (Project Management Institute (PMI), 2021).

En el dominio del desempeño relacionado con el enfoque de desarrollo y el ciclo de vida del proyecto, se incluyen las actividades y funciones vinculadas a la selección y aplicación del enfoque de desarrollo adecuado (predictivo, híbrido o adaptativo), así como la gestión de las fases y cadencia del ciclo de vida para optimizar los resultados y entregables del proyecto (Serrador, P. & Pinto, J. K., 2020). Por otro lado, el dominio del desempeño de la planificación

---

implica organizar y coordinar todas las actividades del proyecto a lo largo de su ciclo completo, integrando los requisitos organizacionales, entre los cuales se destaca la planificación de recursos físicos, la cadena de suministro, la logística y las adquisiciones. En este contexto, la sostenibilidad ambiental debe considerarse como un criterio fundamental en la gestión de adquisiciones, asegurando la validación y cumplimiento de estándares ambientales (Gareis, Huemann, & Martinuzzi, 2020).

El *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK® Guide) propone la gestión de la sostenibilidad ambiental de forma general, enfatizando su importancia como parte del enfoque holístico en la dirección de proyectos (Project Management Institute (PMI), 2021). No obstante, sugiere más una conciencia ambiental que una metodología específica para su medición. En contraste, el estándar P5™ del Green Project Management (GPM) proporciona un marco conceptual más orientado a la evaluación de sostenibilidad, incluyendo indicadores relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tanto en las actividades del proyecto como en los productos resultantes (Green Project Management, 2019). Este enfoque permite al equipo de proyecto validar la sostenibilidad mediante herramientas de evaluación cualitativa, como escalas tipo Likert.

Sin embargo, tanto el PMBOK® Guide como el estándar P5™ carecen de instrumentos concretos, artefactos o herramientas cuantitativas estandarizadas que orienten cómo planificar, medir y reportar las emisiones de GEI dentro del ciclo de vida del proyecto. Esta carencia limita la capacidad de los equipos de proyecto para alinear sus prácticas con marcos globales de reporte ambiental como el GHG Protocol o los lineamientos del IPCC (Arif, M., Zahoor, H., Asif, M., & Mahmood, A., 2023).

### **2.5.3.3. Individual Competence Baseline - IPMA ICB®**

La IPMA ICB® (Individual Competence Baseline) es un estándar global que define las competencias requeridas para quienes desempeñan funciones en la gestión de proyectos, programas y portafolios. La versión más reciente, ICB 4.0, se construye sobre ediciones

---

anteriores e incorpora nuevas visiones y orientaciones dirigidas a un amplio espectro de usos en distintos contextos (Vukomanović, Young, & Huynink, 2016). Este estándar está concebido para una audiencia diversa que incluye a docentes, formadores, profesionales de ingeniería, especialistas en recursos humanos y evaluadores de certificación (International Project Management Association (IPMA), 2017). Dentro del sistema de certificación de cuatro niveles que emplea la IPMA (niveles A, B, C y D), la ICB sirve como referencia central para la evaluación de competencias individuales (Softysik, Zakrzewska, Sagan, & Jarosz, 2020).

Dentro del dominio Perspectiva de la IPMA ICB® (versión 4), el director de proyectos debe demostrar competencias que le permitan concebir y conducir proyectos exitosos, alineando los objetivos del proyecto con la estrategia institucional, la misión, la política de calidad y los valores organizacionales. En ese marco, al integrar la estrategia al proyecto, el gestor puede aplicar diversos modelos para la difusión y operatividad de los objetivos estratégico, mediante análisis del entorno, modelos de alineamiento estratégico y gestión del rendimiento, constituyendo un sistema de medición con factores críticos de éxito e indicadores clave de desempeño (KPIs) que faciliten el control y seguimiento del proyecto y contribuyan a la sostenibilidad organizacional. La ICB4® no prescribe metodologías, herramientas o procesos específicos; más bien, orienta para que la organización y el individuo seleccionen aquellos métodos apropiados al contexto particular (International Project Management Association (IPMA), 2017).

El elemento de competencia Cumplimiento, estándares y regulaciones define cómo el individuo interpreta y equilibra las restricciones externas (normativas legales, estándares sectoriales, obligaciones regulatorias) e internas (políticas organizacionales, procedimientos internos) en un contexto determinado (país, industria u organización). En este sentido, el director de proyectos debe poseer conocimiento de principios de sostenibilidad, de modo que al planificar y desarrollar el proyecto incorpore consideraciones estratégicas como los costos del ciclo de vida, la eficiencia ambiental y la optimización de relaciones con proveedores y socios,

---

así como evaluar los riesgos regulatorios y medioambientales. En particular, en la competencia de asegurar que el proyecto cumple con las regulaciones pertinentes en seguridad, salud y medio ambiente, el gestor debe:

- Identificar cómo las actividades, entregables o productos del proyecto pueden afectar al equipo, usuarios finales y al entorno.
- Proponer e implementar medidas preventivas o correctivas cuando sea necesario.
- Emplear indicadores de desempeño (KPIs) vinculados a la sostenibilidad del proyecto para monitorear el cumplimiento continuo.

Cabe destacar que, acorde con el estándar ICB4®, no se prescriben métodos, herramientas o procesos específicos: se espera que la organización y el individuo seleccionen los mecanismos más adecuados para su contexto (Arabpour & Silvius, 2023). Además, estudios recientes sobre prácticas sostenibles en gestión de proyectos han identificado que el cumplimiento es una de las dimensiones clave agrupadas por profesionales al integrar sostenibilidad (Soares, I.; Fernandes, G.; Santos, J. M. R. C. A., 2024). En el ámbito de la construcción, investigaciones han definido intervenciones mínimas de cumplimiento regulatorio como parte esencial de una base sostenible de gestión de proyectos (Arabpour & Silvius, 2023). Asimismo, en el sector de control gerencial, se ha observado que las organizaciones que integran requisitos de certificación y estándares de sostenibilidad en sus sistemas de control logran un mejor alineamiento entre las metas estratégicas y los proyectos (Gomes, Leite, & Carmo, 2025).

En el estándar ICB4® de la IPMA, la sostenibilidad ambiental no aparece como un requisito específico para medir emisiones de proyecto o producto, sino que se incorpora como parte de las competencias contextuales "Perspectiva" al definir el marco del entorno, los estándares aplicables y la responsabilidad hacia normas, regulaciones y valores sociales y éticos (International Project Management Association (IPMA), 2015). En contraste, el estándar P5 Standard™ para la gestión sostenible de proyectos exige explícitamente que el equipo del

---

proyecto valide impactos ambientales mediante métricas cuantitativas, incluyendo la medición de emisiones generadas tanto por las actividades del proyecto como por el producto final, como parte de su análisis de impacto (“P5 Impact Analysis”) y la elaboración de un Plan de Gestión de Sostenibilidad (Green Project Management, 2019).

Tanto el estándar ICB4® de la IPMA como el PMBOK® Guide del PMI y el P5 Standard™ de GPM carecen de directrices específicas sobre herramientas o artefactos para la planificación y medición de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en proyectos. El ICB4® se centra en competencias individuales y no prescribe metodologías operativas específicas, incluyendo la gestión ambiental (International Project Management Association (IPMA), 2015). Por su parte, el PMBOK® Guide, aunque aborda la gestión ambiental en términos generales, no proporciona directrices detalladas sobre la cuantificación de emisiones de GEI (Project Management Institute (PMI), 2021). El P5 Standard™ establece principios para la sostenibilidad en la gestión de proyectos, pero no especifica herramientas concretas para la medición de emisiones de GEI (Green Project Management, 2019). Esta ausencia de directrices específicas ha llevado a la adopción de herramientas externas, como el Greenhouse Gas Protocol y su Project Quantification Tool, que ofrecen metodologías estandarizadas para la medición y reporte de emisiones de GEI en proyectos (Greenhouse Gas Protocol, 2023).

#### **2.5.3.4. PM²®**

PM²® es una metodología de gestión de proyectos desarrollada por la Comisión Europea cuya finalidad es proporcionar a los equipos de proyecto un marco accesible, práctico y adaptable para gestionar eficazmente el ciclo de vida del proyecto y entregar soluciones y beneficios a la sus organizaciones y partes interesadas (Comisión Europea, 2021).

Corresponde al director del proyecto cultivar y desarrollar sus competencias técnicas en esta metodología, mediante estudio, práctica, intercambio de experiencias y reflexión crítica sobre las lecciones aprendidas (Comisión Europea, 2021). El “Enfoque PM²®” comprende el conjunto

---

de actitudes y comportamientos que ayudan a los equipos a focalizarse en los elementos esenciales para alcanzar los objetivos del proyecto (Comisión Europea, 2021).

En muchos códigos de conducta profesional aplicables al ámbito de la gestión de proyectos se señala que la actuación del personal del proyecto y las decisiones adoptadas deben estar guiadas por el deber de servir al bien común y al interés público, y no motivadas por intereses privados. Además, en la planificación del proyecto, el plan de externalización describe las estrategias contractuales mediante las cuales se contratarán servicios o productos externamente para satisfacer las necesidades del proyecto, definiendo criterios, mecanismos de control y responsabilidades (Oshri, Kotlarsky, & Willcocks, 2022).

En PM<sup>2</sup>® se establece que los equipos de proyecto pueden aplicar una serie de herramientas y técnicas reconocidas para afrontar diversos retos de gestión (Comisión Europea, 2021). Sin embargo, en relación con la sostenibilidad ambiental, el método sugiere el uso del análisis PESTEL para comprender cómo el entorno macro puede afectar al proyecto, incluyendo factores ambientales. El acrónimo PESTEL representa: Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal. Este análisis permite identificar factores externos que podrían influir sobre los objetivos, la planificación o la ejecución del proyecto. En el contexto del cambio climático y la presión regulatoria, el componente ambiental ha sido incorporado como elemento explícito en estudios recientes del marco PESTEL (Comisión Europea, 2021).

En el estándar PM<sup>2</sup>® se sugiere que la sostenibilidad ambiental puede evaluarse mediante herramientas de análisis del entorno, como el PESTEL, considerándose impactos positivos y negativos que el proyecto podría generar. El análisis PESTEL - Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal - ayuda a identificar factores externos que podrían afectar los objetivos, la planificación o la ejecución del proyecto. En contraste, el estándar P5™ incorpora un enfoque más explícito al requerir que el equipo del proyecto valide la sostenibilidad ambiental mediante mediciones cuantitativas. Por ejemplo, el P5 hace uso de un análisis de impacto y promueve la emisión de un Plan de Gestión de Sostenibilidad, en el cual

---

podrían emplearse escalas de medición para valorar si el proyecto monitorea sus emisiones, tanto de las actividades del proyecto como del producto final (Marques, Sousa, & Tereso, 2023).

En el estándar PM<sup>2</sup>®, al igual que en ICB4®, P5™ y la guía PMBOK®, no se especifican artefactos, herramientas ni metodologías detalladas para planificar ni medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro del proyecto. Aunque PM<sup>2</sup> ofrece plantillas y guías generales de gestión y un “Añadirse a la Sostenibilidad” para integrar prácticas sostenibles (Comisión Europea, 2021), no prescribe explícitamente un instrumento para cuantificar emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> u otros GEI. De forma similar, los estándares ICB4 y PMBOK abordan la dimensión ambiental desde un enfoque general de riesgos o contexto, pero sin definir técnicas cuantitativas concretas para medir las emisiones de GEI (International Project Management Association (IPMA), 2015). En cambio, el estándar P5™ sí exige que el equipo del proyecto valide la sostenibilidad ambiental mediante métricas e indicadores cuantificables para evaluar si el proyecto monitorea sus emisiones tanto de las actividades del proyecto como del producto final (Greenhouse Gas Protocol, 2023).

#### **2.5.3.5. ISO 21502:2020®**

La norma internacional ISO 21502:2020 proporciona directrices y buenas prácticas para los participantes y partes interesadas en proyectos, basándose en las experiencias más exitosas en el ámbito de la gestión de proyectos (International Organization for Standardization (ISO), 2020). Para asegurar la adecuada dirección y coordinación, es necesario definir un marco de gobierno y de gestión que establezca roles, responsabilidades, estructuras decisorias y métodos de trabajo adaptados al nivel de complejidad del proyecto (Derakhshan, Turner, & Mancini, 2019).

En este contexto, el gerente del proyecto responde ante el patrocinador o la junta del proyecto por la consecución del alcance pactado, y supervisa la dirección, monitoreo, control y

---

cierre del proyecto. En consulta con el patrocinador, el gerente define la forma de iniciar, supervisar, controlar y poner fin al proyecto, conforme a los requisitos de gobernanza establecidos (Takagi, N. & Varajão, J., 2025).

Las actividades previas al lanzamiento formal de un proyecto deben fundamentarse en una evaluación multicriterio que incorpore dimensiones cuantitativas, cualitativas y financieras, así como criterios estratégicos, de sostenibilidad e impacto social y ambiental. Estas evaluaciones deben alinearse con el marco de gobernanza organizacional y con los procesos y sistemas institucionales que condicionan la aprobación de proyectos (Turner, J. R. , 2020).

En esta fase preliminar, el gerente del proyecto debe desarrollar un plan inicial que incluya hitos y puertas de decisión, basados en una combinación del ciclo de vida del proyecto y de un nivel mínimo de planificación para la fase inmediata. Asimismo, debe considerarse cómo se realizará la transición de los productos o entregables hacia las operaciones o hacia el cliente, en caso de que dicha transición forme parte del alcance del proyecto. En estos momentos tempranos pueden explorarse varias opciones de transición que serán definidas con mayor detalle en etapas posteriores. Las decisiones que involucren factores externos al proyecto (por ejemplo, condiciones macroeconómicas, criterios de sostenibilidad, disponibilidad de financiamiento o recursos compartidos) suelen ser competencia de instancias superiores, dado su efecto potencial sobre otros proyectos o actividades organizacionales. Por ello, la organización patrocinadora debe mantener informado al patrocinador del proyecto sobre el contexto estratégico más amplio, facilitando orientación o ajustes cuando sea necesario. Asimismo, debe garantizar que el patrocinador tenga el tiempo y recursos necesarios para ejercer sus responsabilidades con eficacia (International Organization for Standardization (ISO), 2020).

En la norma ISO 21502:2020, la sostenibilidad ambiental implica que la organización debe llevar a cabo, con antelación a la puesta en marcha del proyecto, un análisis de los criterios de gobernanza que aplicará a sus iniciativas, incluyendo aquellos relacionados con

---

impacto ambiental, riesgos ecológicos y regulaciones pertinentes. En este análisis es pertinente comparar los lineamientos de ISO 21502 con estándares de sostenibilidad como el P5 Standard for Sustainability in Project Management, que propone evaluar dimensiones como producto, proceso, personas, planeta y prosperidad (Greenhouse Gas Protocol, 2023). En el contexto del P5, los equipos de proyecto pueden utilizar escalas de medición (por ejemplo, Likert u otras métricas cuantitativas) para determinar si el proyecto monitorea sus emisiones, tanto durante las actividades del proyecto como del producto resultante. Asimismo, la literatura reciente sugiere que la incorporación sistemática de criterios ambientales en la planificación del proyecto - más allá de simples cláusulas correctivas - mejora los resultados de desempeño sostenible (Suvvari, S. K. & Sawalkar, R., 2024).

En ISO 21502:2020, al igual que en estándares como PM<sup>2</sup>, ICB4, P5 y la Guía PMBOK, no se especifican artefactos ni herramientas concretas para planificar o medir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En otras palabras, estas normas ofrecen directrices de gobernanza, ciclo de vida del proyecto, roles y procesos, pero no detallan métodos prácticos para la cuantificación de las emisiones del proyecto o del producto (Inês Soares, Gabriela Fernandes, & José M. R. C. A. Santos, 2024).

En cambio, algunos estudios recientes en gestión sostenible de proyectos han observado esa laguna normativa y proponen frameworks, técnicas de medición o integración con estándares específicos del ámbito ambiental (ejemplo: análisis de ciclo de vida, factores de emisión estandarizados, herramientas de contabilidad del carbono) para complementar las normas de gestión de proyectos (De Bortoli, Bjørn, & Saunier, 2025).

#### **2.5.3.6. Comparativo de estándares**

En la actualidad, el análisis de datos no solo cumple una función técnica, sino que se ha consolidado como una herramienta estratégica para las organizaciones, particularmente en contextos donde la sostenibilidad ambiental adquiere un carácter transversal. Diversos estudios han demostrado que el uso sistemático de datos permite identificar patrones, prever escenarios

---

y, en consecuencia, formular estrategias más robustas orientadas al fortalecimiento de la cultura organizacional, la infraestructura operativa y la gobernanza de proyectos (Alyahya, A. & Agag, G., 2025). En ese marco, la capacidad de una organización para integrar datos de sostenibilidad - como el consumo energético, las emisiones de carbono o la eficiencia de recursos - resulta determinante para su posicionamiento en un entorno global caracterizado por la interdependencia normativa y el escrutinio ambiental creciente.

En la Tabla 6 se presenta un análisis comparativo entre estándares internacionales de gestión de proyectos, centrado específicamente en la dimensión de sostenibilidad ambiental. Este comparativo considera el consumo de energía como uno de los principales indicadores de desempeño ambiental, dado que representa un factor cuantificable, comparable y directamente vinculado con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). No obstante, al analizar estándares como ISO 21502, PM<sup>2</sup>, ICB4, P5 y la Guía PMBOK, se evidencia una ausencia sistemática de instrumentos específicos que orienten cómo debe medirse o reportarse el consumo energético en los proyectos. Si bien estos marcos promueven principios generales de sostenibilidad, su nivel de operatividad en términos de indicadores concretos es limitado (Hernández, Ossio, & Silva, 2023).

Frente a este vacío metodológico, investigaciones recientes han propuesto modelos alternativos de evaluación. Por ejemplo, Fagarasan, Cristea & Cristea proponen un sistema de puntuación basado en métricas ambientales adaptado a contextos ágiles de desarrollo de software (Fagarasan, Cristea, & Cristea, 2024), mientras que Lou, analiza proyectos de infraestructura de gran escala que integran criterios energéticos desde la planificación (Lou, Afshari, Johansen, Rasmussen, & Bohne, 2025). Estas iniciativas evidencian una tendencia emergente hacia la operacionalización de la sostenibilidad en proyectos, superando las limitaciones de los marcos tradicionales. Por tanto, se hace cada vez más necesario que los estándares de gestión evolucionen hacia enfoques más prescriptivos, incluyendo guías

---

específicas sobre qué medir, cómo hacerlo y con qué frecuencia, especialmente en relación con el uso energético como variable crítica del desempeño ambiental.

**Tabla 6 Comparativo de estándares de la gerencia de proyectos.**

Estándar	Categorías de sostenibilidad
	<b>Sostenibilidad ambiental</b>
	<b>Energía</b>
	<b>Emisiones /CO2 por la energía usada</b>
<b>P5</b>	<p>En el marco de la matriz P5 - Standard for Sustainability in Project Management, uno de los criterios evaluados es si el director del proyecto gestiona o mide la sostenibilidad ambiental dentro de ese proyecto específico. Esta evaluación puede realizarse mediante una escala de medición - por ejemplo, con valores de techo y piso - para determinar, en términos relativos, hasta qué grado el proyecto ha incorporado la medición de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). No obstante, aunque el estándar P5 sugiere que los equipos de proyecto deberían “medir la huella de carbono del proyecto y el activo producido” como parte de su enfoque de sostenibilidad (Greenhouse Gas Protocol, 2023), no se especifican artefactos, herramientas o metodologías concretas (por ejemplo, protocolos de contabilidad de carbono, sistemas de monitoreo, uso de sensores, modelos de estimación) para llevar a cabo dicha medición bajo condiciones de proyecto. Esta laguna metodológica es coherente con la naturaleza del estándar P5, que está orientado a principios y criterios de sostenibilidad más que a prescripciones técnicas operativas (Patrícia Marques, Paulo Sousa, &amp; Anabela Tereso, 2023). En contraste, la literatura emergente sobre gestión sostenible de proyectos ha comenzado a explorar métodos específicos para cuantificar emisiones dentro de iniciativas concretas. Por ejemplo, el estudio “A Methodology for Carbon Footprint Estimations of Research Project Activities” propone un procedimiento basado en el GHG Protocol y factores de emisión determinados para estimar emisiones de calefacción, electricidad, desplazamientos, equipo de TI y otros insumos de proyecto (Liora, N., Poupkou, A., Papadogiannaki, S., Parliari, D., &amp; Giama, E., 2023). Este caso de uso ilustra cómo se puede complementar el estándar P5 con procedimientos medibles, aunque dichos procedimientos no están incorporados en el estándar mismo. Por tanto, puede afirmarse con rigor que P5 establece criterios de medición ambiental, pero deja a los equipos la libertad o el desafío de elegir y diseñar las herramientas operativas para medir GEI en sus proyectos.</p>
<b>PMBOK</b>	<p>En el contexto de la gestión de proyectos sostenibles, tanto el PMBOK® como el P5™ Standard for Sustainability in Project Management reconocen la importancia de la sostenibilidad ambiental, pero difieren en su enfoque y nivel de prescripción. El PMBOK® establece que los proyectos deben considerar los aspectos ambientales como parte de la gestión de los interesados y la planificación del alcance, pero no proporciona directrices específicas sobre cómo medir o gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero (Project Management Institute (PMI), 2024). Por otro lado, el estándar P5™ introduce un enfoque más estructurado, proponiendo la validación de la sostenibilidad ambiental mediante una escala de medición que evalúa si el equipo del proyecto gestiona y mide las emisiones tanto de las actividades del proyecto como del producto final (Greenhouse Gas Protocol, 2023). Sin embargo, ambos marcos carecen de</p>

---

artefactos o herramientas concretas que guíen la planificación y medición de las emisiones de GEI, lo que representa una oportunidad para el desarrollo de metodologías prácticas que integren estas dimensiones en la gestión de proyectos (Project Management Institute (PMI), 2024).

---

**ICB4**

En el estándar ICB4 la sostenibilidad ambiental se deriva a realizar una integración de aspectos sociales, técnicos y ambientales que podría tener el proyecto, realizando la comparación con el estándar P5 en este se indica validar la sostenibilidad ambiental la cual es gestionada por el equipo de proyecto para realizar bajo escala de Likert la medición si el proyecto mide o no sus emisiones tanto de las actividades del proyecto como del producto producido. En ICB4 al igual que en el estándar P5 y la guía PMBOK no se indican artefactos y/o herramientas de cómo deben ser planificadas y medidas las emisiones de GEI. En el estándar ICB4, publicado por IPMA, la sostenibilidad ambiental se aborda como parte de una integración sistémica entre los aspectos sociales, técnicos y ecológicos que podrían impactar el ciclo de vida del proyecto. Esta perspectiva promueve una visión holística de la sostenibilidad, enfocada en las competencias individuales del director del proyecto más que en procesos operativos específicos (International Project Management Association (IPMA), 2015). Al comparar esta visión con el estándar P5™, se observa que este último plantea una evaluación más concreta de la sostenibilidad ambiental, al establecer escalas para validar si el equipo del proyecto mide o no sus emisiones, tanto derivadas de las actividades del proyecto como del producto o servicio entregado (Project Management Institute (PMI), 2024). Sin embargo, tanto ICB4 como el P5™ y la Guía PMBOK® (Project Management Institute (PMI), 2021), comparten una limitación importante: ninguno proporciona artefactos, herramientas o metodologías específicas para planificar o medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta ausencia de directrices técnicas representa una brecha metodológica que ha sido reconocida en investigaciones recientes, las cuales advierten que, si bien los marcos normativos promueven principios de sostenibilidad, no logran determinar en procedimientos cuantificables (Hernández, Ossio, & Silva, 2023). Por ello, se hace necesaria la integración de marcos complementarios - como el GHG Protocol o las métricas de la ISO 14064 - dentro de la gestión de proyectos, para traducir esos principios en prácticas medibles que permitan gestionar el desempeño ambiental de manera efectiva.

**PM<sup>2</sup>**

---

En el estándar PM<sup>2</sup>, la sostenibilidad ambiental se aborda mediante la aplicación de un análisis PESTEL que identifica impactos positivos y negativos potenciales del proyecto en dimensiones políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales. Esta perspectiva analítica puede compararse con el estándar P5™, el cual propone que el equipo de proyecto valide la sostenibilidad ambiental mediante una escala de medición que evalúe si el proyecto monitorea o mide sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas tanto de las actividades del proyecto como del producto final (Project Management Institute (PMI), 2024).

No obstante, en PM<sup>2</sup> - al igual que en los estándares ICB4, P5 y la Guía PMBOK® - no se proporciona una guía detallada sobre los artefactos o herramientas que deberían emplearse para planificar o cuantificar las emisiones de GEI. Esta omisión metodológica representa una oportunidad de investigación: desarrollar procedimientos, instrumentos o marcos técnicos (por ejemplo, protocolos de contabilidad de carbono, modelos de estimación, sensores, bases de datos

---

de factores de emisión) que puedan ser integrados a PM<sup>2</sup> para operacionalizar la sostenibilidad ambiental en proyectos.

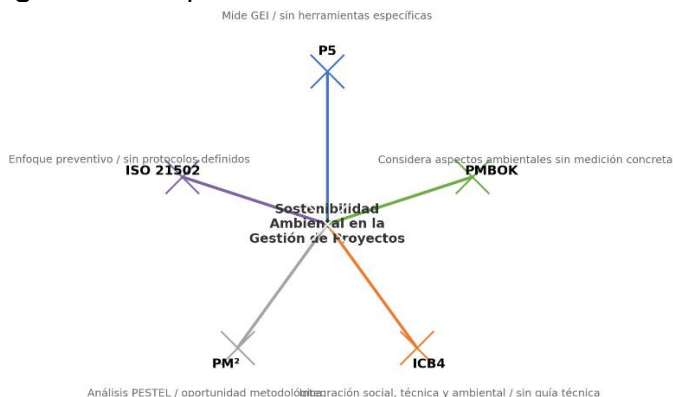
### ISO 21502

En el estándar ISO 21502:2020, la sostenibilidad ambiental se inscribe dentro de un enfoque preventivo: la organización debe realizar un análisis previo de los criterios de gobernanza aplicables a sus proyectos, incluyendo potenciales impactos ecológicos, regulaciones ambientales y riesgos asociados (International Organization for Standardization (ISO), 2020). Al compararse con el estándar P5™, este último lleva más lejos la operacionalización de la sostenibilidad: propone que el equipo de proyecto valide, mediante una métrica, si el proyecto realiza mediciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tanto de sus actividades como del producto generado. No obstante, ni ISO 21502 ni P5 - así como los estándares PM<sup>2</sup>, ICB4 o la Guía PMBOK® - establecen artefactos, herramientas o protocolos específicos para planificar y medir dichas emisiones de GEI. Esta carencia metodológica es consistente con el carácter guía de tales normas, que privilegian principios y prácticas estructurales antes que directrices técnicas detalladas (Soares, I.; Fernandes, G.; Santos, J. M. R. C. A., 2024).

*Nota:* Elaboración propia adaptado de los estándares de gerencia de proyectos.

La figura 11 sintetiza la comparación de los principales estándares internacionales de gestión de proyectos en relación con la sostenibilidad ambiental. Se observa que, aunque todos reconocen la relevancia del tema, difieren en el grado de operacionalización. El estándar P5 se distingue por incorporar escalas de medición de emisiones, mientras que los demás adoptan enfoques más conceptuales o preventivos, sin detallar herramientas específicas. Esta representación evidencia una brecha metodológica transversal, lo que plantea un campo de oportunidad para el desarrollo de marcos técnicos que integren la cuantificación de emisiones en la gestión de proyectos.

**Figura 11** Comparación Estándares Internacionales - Sostenibilidad Ambiental



*Nota:* Elaboración propia adaptado de los estándares de gerencia de proyectos.

#### **2.5.4. Visión general de la gestión del valor ganado**

La ejecución de proyectos implica la entrega o mejora de productos y servicios orientados a cumplir los objetivos estratégicos institucionales y generar valor para la organización. En este contexto, el éxito de un proyecto cobra una importancia decisiva, pues no solo se relaciona con el cumplimiento de alcance, plazo y costo, sino también con la transparencia, la eficiencia del gasto y el alineamiento con las políticas (Antoniou, F. & Tsavidou, E., 2025). Estudios recientes demuestran que los criterios tradicionales de éxito han evolucionado para incluir dimensiones como el impacto social, la sostenibilidad y la percepción de los stakeholders (Sastoque-Pinilla, Artelt, Burimova, Lopez de Lacalle, & Toledo-Gandarias, 2022). La estimación de costos en proyectos de ingeniería es crítica, ya que provee información indispensable para la toma de decisiones, la planificación financiera y el control presupuestal (Alshibani, Almuhtaseb, Mohammed, & Ghaitan, 2025). Diversos estudios evidencian que las desviaciones en los costos iniciales, en especial en obras públicas, suelen estar asociadas a modelos de estimación inadecuados, falta de análisis probabilístico de riesgos, y omisión de incertidumbres en etapas tempranas (Mohammadi, Spross, & Stille, 2024). En el campo de las ciencias administrativas aplicadas a la gestión y el concepto de modelo ha evolucionado desde una herramienta descriptiva a un sistema estructurado de anticipación y racionalización de procesos colectivos temporales (Jassim, Hasan, Altaee, & Gamil, 2025). Los modelos actuales integran elementos de gobernanza anticipatoria, agilidad institucional y capacidad adaptativa frente a entornos complejos y cambiantes (Teuber, Heukelum, J., & Wolfert, 2024).

La eficacia en la dirección de proyectos exige que el gerente tome decisiones oportunas y fundamentadas, lo cual requiere información clara, confiable y actualizada sobre el avance real del proyecto. Estudios recientes demuestran que la implementación de Earned Value Management (EVM) como sistema de monitoreo y control mejora significativamente la capacidad de los directores de proyecto para detectar desviaciones de costo y plazo en fases tempranas y formular pronósticos con mayor precisión (Hussein & Moradinia, 2023). En

---

particular, investigaciones recientes en el ámbito de la construcción muestran que los indicadores estándar de EVM, como SPI (Schedule Performance Index) y CPI (Cost Performance Index), cuando se combinan con métodos avanzados de pronóstico y ajuste dinámico, reducen los sobrecostos y retrasos (Ottaviani, Marco, Narbaev, & Rebuglio, 2024). Por lo tanto, uno de los factores de éxito más relevantes en proyectos financiados o de gran escala es que el director del proyecto cuente con un sistema EVM bien configurado, avalado por datos actualizados y con capacidad para generar reportes de desempeño y pronósticos que permitan tomar acciones correctivas a tiempo.

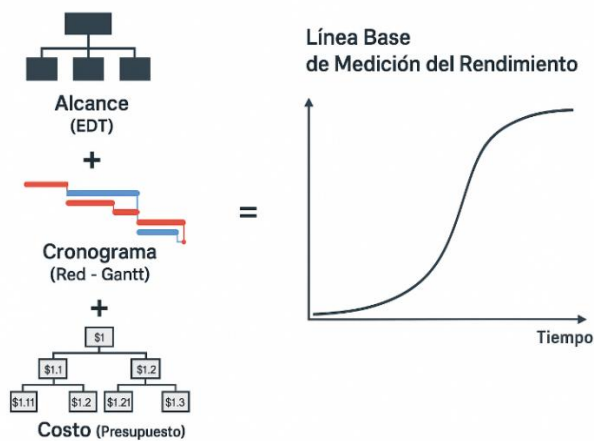
La medición del rendimiento en proyectos suele apoyarse en la técnica de Earned Value Management (EVM) y sus métricas avanzadas (Bhikhubhai Panchal, 2023). Para que EVM sea efectiva, es imprescindible definir la Performance Measurement Baseline (PMB), es decir, la línea base para medir el desempeño, que integra: el alcance del trabajo, el cronograma (schedule) y los costos estimados junto con los recursos necesarios (Ottaviani, Marco, Narbaev, & Rebuglio, 2024). Si estos componentes están bien definidos desde la etapa de planificación, la PMB permite identificar desviaciones a tiempo, anticipar sobrecostos o retrasos, y facilitar pronósticos confiables que apoyen la toma de decisiones gerenciales oportunas.

El concepto explica que el alcance, el cronograma y el costo son los tres elementos fundamentales para planificar y controlar un proyecto.

- El alcance define el trabajo que se debe realizar.
- El cronograma establece los tiempos o plazos para ejecutarlo.
- El costo calcula los recursos y presupuesto necesarios.

En la figura 12, la descripción del trabajo a realizar determinado como alcance, los plazos para su realización determinado como cronograma y el cálculo de sus costos y de los recursos requeridos para su ejecución determinado como el costo del proyecto (Ambriz Avelar, A., 2008).

---

**Figura 12** Integración de la línea base de medición del rendimiento.

*Nota:* Adaptado de paper presented at PMI® Global Congress —Latin América, São Paulo, Brazil.

Fuente: (Ambriz Avelar, A., 2008).

El Análisis del Valor Ganado (EVM) es una metodología integrada de control de proyectos que cuantifica el rendimiento de costos y permite realizar pronósticos del costo final del proyecto mediante métricas clave como el Valor Planeado (PV), el Costo Actual (AC) y el Valor Ganado (EV). EVM asume la integración coherente del alcance, el cronograma y el costo en la planificación y control del proyecto, lo que facilita la evaluación del desempeño y la estimación del presupuesto al término (BAC) (Abdi, Taghipour, & Khamooshi, 2018). Aunque EVM es ampliamente utilizado para medir el rendimiento y proyectar el EAC (Estimate at Completion), la literatura reciente discute sus limitaciones y mejoras, incluyendo extensiones para la planificación temporal (Earned Schedule), la integración con técnicas de aprendizaje automático para mejorar la previsión, y su adaptación a métricas ambientales o de sostenibilidad (Yalçın, G., 2024).

De acuerdo con la guía PMBOK® (Project Management Institute (PMI), 2021), las líneas base más comunes en la gestión de proyectos son la línea base de costo y la línea base de cronograma. Los proyectos que registran una línea base de alcance o técnica suelen emplear indicadores derivados de las medidas sobre entregables para monitorizar el desempeño. Estas

líneas base constituyen las herramientas fundamentales mediante las cuales los gestores comparan el desempeño real frente al planificado. Además, la guía señala que las medidas de cronograma se determinan mediante la comparación entre el rendimiento real y lo planificado en la línea base, lo que permite identificar variaciones e informar acciones correctivas oportunas (Project Management Institute (PMI), 2021). En la tabla 7 se presenta el análisis del desempeño del valor ganado con relación a la línea base del cronograma.

**Tabla 7** Desempeño con relación a la línea base de cronograma.

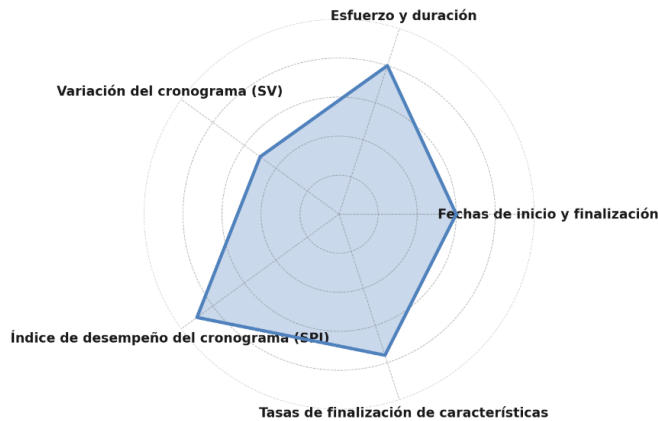
Desempeño	Validación	Resultado Medición
Fechas de inicio y finalización	Compara las fechas reales de inicio con las fechas de inicio planificadas y las fechas reales de finalización con las fechas de finalización planificadas.	Mide el grado en que el trabajo se realiza según lo planeado.
Esfuerzo y Duración	Compara el esfuerzo y la duración reales en comparación con el esfuerzo y la duración planificadas.	Mide la validación sobre la estimación de la cantidad de trabajo y el tiempo que toma el trabajo en desarrollarse.
Variación del cronograma (SV) en inglés <i>schedule variance</i>	Compara el valor ganado contra el valor planificado. Se desempeña utilizando la variación de la ruta crítica.	Ilustra la variación del cronograma
Índice del desempeño del cronograma (SPI) en inglés <i>schedule performance index</i>	Es una medida de gestión del valor ganado.	Indica cuán eficientemente se está realizando el trabajo programado.
Tasas de finalización de características	Examina la tasa de aceptación de características durante las evaluaciones frecuentes.	Evalúa el progreso y estima las fechas y los costos de finalización.

*Nota:* Elaboración propia adaptado de la guía de fundamentos para la dirección de proyectos del PMI. Fuente (Project Management Institute (PMI), 2021).

La figura 13 muestra los principales indicadores asociados al desempeño del cronograma en la gestión de proyectos, organizados de manera radial para reflejar su interdependencia. Cada elemento desde las fechas de inicio y finalización hasta las tasas de finalización de características contribuye al control temporal y a la validación de la eficiencia del

proyecto. Esta estructura evidencia un enfoque integral de monitoreo, en el que la medición continua del progreso permite mejorar la predictibilidad y la gestión del tiempo dentro del ciclo de vida del proyecto.

**Figura 13 Rendimiento indicadores del desempeño del cronograma.**



*Nota:* Elaboración propia adaptado de la guía de fundamentos para la dirección de proyectos del PMI.

Fuente (Project Management Institute (PMI), 2021).

En la Tabla 8 se presenta el análisis del desempeño del costo con relación a la línea base de costo del proyecto. Este análisis utiliza indicadores del método del Valor Ganado (EVM), incluyendo el costo real comparado con el planificado, la variación del costo ( $CV = EV - AC$ ) y el índice de desempeño del costo ( $CPI = EV / AC$ ). Dichos indicadores permiten evaluar la eficiencia del uso de los recursos y la magnitud de las desviaciones presupuestarias (Yalçın, G., 2024).

**Tabla 8 Desempeño con relación a la línea base de costo.**

Desempeño	Validación	Resultado Medición
Costo real en comparación con el costo planificado	Compara el costo real de la mano de obra o los recursos con el costo estimado.	Tasa de Consumo
Variación del costo (CV) en inglés <i>cost variance</i>	Compara el costo real de un entregable con el costo estimado. En la gestión del valor ganado es la diferencia entre el valor ganado y el costo real.	Ilustra la variación del costo

---

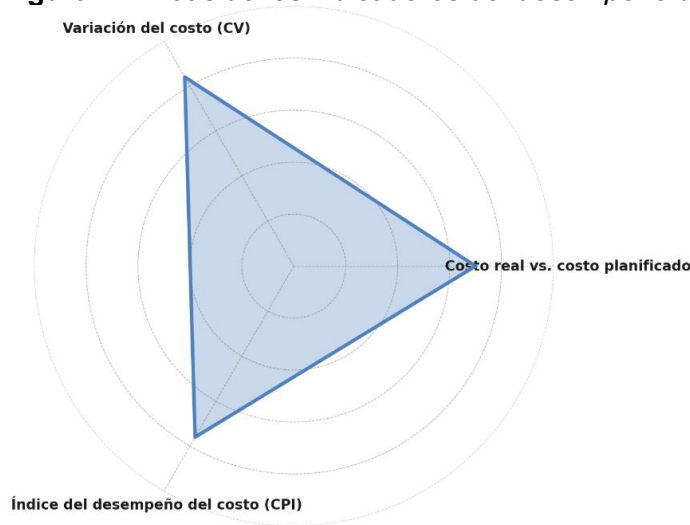
Índice del desempeño del costo (CPI) en inglés <i>cost performance index</i>	Es una medida de gestión del valor ganado.	Indica la eficiencia con que se lleva a cabo el trabajo con relación al costo presupuestado del mismo.
--	--	--

---

*Nota:* Elaboración propia adaptado de la guía de fundamentos para la dirección de proyectos del PMI.  
 Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2021).

La figura 14 de áreas radiales representa los tres indicadores fundamentales del desempeño de costos: el costo real frente al planificado, la variación del costo (CV) y el índice del desempeño del costo (CPI). La forma y equilibrio del área reflejan la consistencia del control financiero del proyecto.

**Figura 14** Áreas de los indicadores del desempeño del costo.



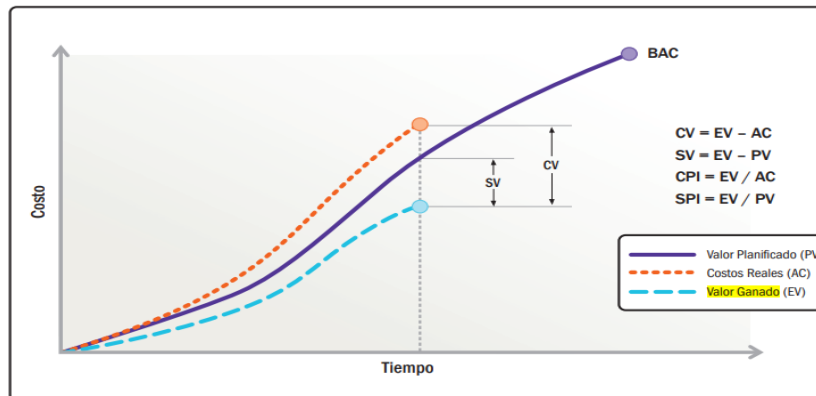
*Nota:* Elaboración propia adaptado de la guía de fundamentos para la dirección de proyectos del PMI.  
 Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2021).

En términos de cronograma, el Análisis del Valor Ganado (EVM) se aplica utilizando información proveniente de herramientas de programación, como el diagrama de Gantt, que permite el seguimiento temporal de las actividades y la asignación de recursos con sus respectivos rubros presupuestarios. La adecuada distribución del costo en el tiempo y la correcta medición del Valor Ganado son elementos clave para el seguimiento del desempeño y

---

la toma de decisiones durante la ejecución del proyecto. El análisis relaciona el Valor Ganado con las variaciones de costo y de cronograma (por ejemplo, CV, CPI, SPI y Earned Schedule), ver figura 15, posibilitando la detección temprana de desviaciones y la estimación de pronósticos que orientan acciones correctivas (Project Management Institute (PMI), 2021).

**Figura 15** Análisis del valor ganado.



*Nota:* Adaptado de la guía de fundamentos para la dirección de proyectos del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2021)

El Valor Planeado (PV, Planned Value) corresponde al costo presupuestado del trabajo programado hasta una fecha de corte. El Valor Ganado (EV, Earned Value) representa el costo presupuestado del trabajo realmente ejecutado hasta esa fecha, estimado como el porcentaje de avance multiplicado por el presupuesto asignado a la tarea. El Costo Real (AC, Actual Cost) es el costo efectivamente incurrido en la ejecución del trabajo hasta la fecha de medición. En términos gráficos, la curva de AC muestra la acumulación de los costes reales incurridos a lo largo del tiempo, mientras que la curva de EV representa la suma acumulada de los costos presupuestados correspondientes al trabajo completado; la comparación entre ambas permite identificar desviaciones y apoyar la toma de decisiones en el control del proyecto (Project Management Institute (PMI), 2021).

Según lo establecido en el Practice Standard for Earned Value Management (Project Management Institute (PMI), 2019), antes de seleccionar el método de medición del Análisis del Valor Ganado (EVM), es necesario identificar los puntos críticos que garantizan su correcta

aplicación durante el seguimiento del proyecto. Estos puntos incluyen la definición de la línea base de medición, el nivel de desagregación del plan, las reglas de cálculo del avance físico o porcentual, la asignación presupuestaria por paquete de trabajo y la frecuencia de recopilación de datos. En la Tabla 9 se presenta una síntesis de los principales métodos de medición (porcentaje de avance, unidades físicas, hitos alcanzados y desempeño acumulado), junto con los criterios clave que deben considerarse para asegurar una medición consistente y confiable del rendimiento del proyecto bajo el enfoque del Valor Ganado (Project Management Institute (PMI), 2019).

**Tabla 9 Puntos clave al determinar los métodos de medición del valor ganado.**

Métodos de Medición	Puntos clave a considerar
<b>Esfuerzo discreto</b>	50/50, 25/75, 4/40/60. Con este método el trabajo se acredita por un EV tan pronto como comienza con un porcentaje específico. (25/75 comienza con el 25 % tomando el primer periodo en el que se usa el método con el 75 % tomado cuando se completa el trabajo).
	Fórmula fija - El progreso real es invisible y este método puede dar una falsa sensación de logro. - Este método de trabajo solo debe usarse para trabajos que duran 2 o 3 periodos de informe.
	0/100: El método 0/100 no acredita el EV incrementalmente por trabajo parcial; por lo tanto, no se informa explícitamente del inicio de la obra. Este método de medición solo debe usarse para el trabajo que está programado para comenzar y completarse dentro de un periodo de informe.
	Hito ponderado El método de hito ponderado tiene uno o más hitos en el periodo de medición. Cada hito tiene un logro objetivo y verificable que está asociado con él. Los hitos se ponderan para reflejar el logro relativo de los hitos frente al total.
Porcentaje completado El método implica una estimación del porcentaje completo del BAC en cada punto de medición. Debe haber criterios medibles asociados con el porcentaje de mediciones completas o estos pueden ser subjetivos e inexactos.	
Medida física La evaluación del avance del trabajo en los paquetes de trabajo del proyecto está relacionada con la naturaleza física. Considerando que las pruebas, los procedimientos de medición y/o especificaciones deben ser explícitos y acordados de antemano.	
<b>Esfuerzo repartido</b>	En el esfuerzo prorrateado, el gerente de proyecto debe tener conocimiento pragmático y registros de desempeño validados para crear el porcentaje del esfuerzo prorrateado perteneciente al paquete de trabajo discreto.
<b>Nivel de esfuerzo</b>	El nivel de esfuerzo (LOE) en inglés <i>level of effort</i> puede ser mal usado y distorsionar el progreso real del proyecto, porque el PV del LOE determina el EV para cada periodo de informe (nunca hay variación del cronograma) sin importar el trabajo que es realmente realizado.

*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

La distribución del presupuesto en el tiempo constituye un elemento esencial para la adecuada implementación del Análisis del Valor Ganado (EVM) (Project Management Institute (PMI), 2019). Esta distribución implica definir con precisión la asignación presupuestaria por paquete de trabajo y la proyección temporal del gasto en la línea base de costos, lo cual permite establecer una relación directa entre el progreso físico y el desempeño financiero del proyecto. Asimismo, es fundamental seleccionar la técnica de medición del avance más apropiada, considerando la naturaleza de las actividades, el tipo de entregables y la disponibilidad de información verificable. En la Tabla 10 se sintetizan las principales técnicas de medición - como el porcentaje de avance, las unidades físicas, los hitos alcanzados y las técnicas de desempeño acumulado - junto con los factores críticos a considerar, tales como la granularidad del plan, las reglas de cálculo del avance, la asignación de recursos y la frecuencia de reporte, para garantizar mediciones consistentes y confiables del rendimiento del proyecto bajo el enfoque del Valor Ganado (Project Management Institute (PMI), 2019).

**Tabla 10** *Técnicas de medición del valor ganado.*

Características de los entregables	Duración de la tarea	Técnica recomendada para la medición del valor ganado
	1 o 2 periodos de medición	Fórmula Fija
<b>Tangibles</b>	Más de 2 periodos de medición	Porcentaje completado % duración completada % de trabajo completado % unidades físicas completadas % físico completado
<b>Intangibles</b>	Cualquier duración	Medida física Esfuerzo proporcional Nivel de esfuerzo

*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

Al profundizar en el método de medición del esfuerzo discreto mediante la técnica de porcentaje completado, el Practice Standard for Earned Value Management del Project Management Institute, (Project Management Institute (PMI), 2019) establece que este tipo de trabajo se caracteriza por ser tangible, medible y planificable, generando resultados específicos

y verificables. Dicho esfuerzo se asocia directamente con productos, entregables o servicios finales que pueden cuantificarse en unidades físicas o porcentuales, lo que permite establecer puntos de control precisos dentro del ciclo de ejecución del proyecto. Los métodos de medición aplicados al esfuerzo discreto tienen como propósito cuantificar con objetividad el progreso real, garantizando que las estimaciones de avance se fundamenten en evidencia empírica y trazable. En este sentido, la técnica del Porcentaje Completado (PC) se utiliza para determinar el grado de avance de una tarea en un momento específico, considerando las características de cada actividad, los entregables comprometidos y los criterios de aceptación establecidos. Diversos estudios recientes destacan la importancia del PC como herramienta para mejorar la precisión del Valor Ganado (EV) y fortalecer la predicción del rendimiento del proyecto (Project Management Institute (PMI), 2019). En la Tabla 11 se presenta el análisis de las técnicas de medición del porcentaje completado, así como los puntos clave que deben considerarse en la aplicación del método de Valor Ganado.

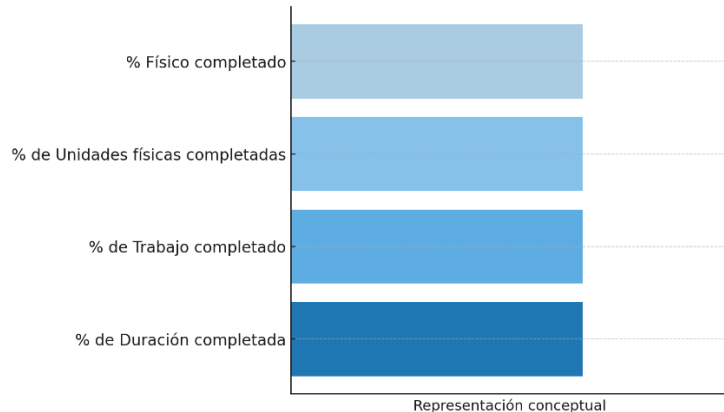
**Tabla 11** Técnica de medición del porcentaje completado.

Técnica de Medición	Puntos clave a considerar
% de Duración completada	Duración real a la fecha / Duración total  Se recomienda para tareas que tengan un desempeño lineal (proporcional uniforme) a largo de su duración.
% de Trabajo completado	Trabajo real a la fecha / Trabajo total  Se recomienda para tareas en las cuales el avance parcial sea el mismo que la proporción de las horas reales trabajadas con respecto al trabajo (cantidad de horas) total.
<b>Porcentaje completado</b>  % de Unidades físicas completadas	Unidades físicas reales a la fecha / Unidades totales  Se recomienda para tareas en las cuales el avance parcial se estime a partir de las unidades físicas entregadas con respecto a las totales; por ejemplo, metros cúbicos de concreto colados o toneladas de acero montadas.
% Físico completado	Evaluación del avance físico a la fecha de corte.  Se recomienda para tareas en las cuales el avance parcial se evalúe por el volumen físico alcanzado y en las cuales no se pueda aplicar ninguna de las tres técnicas anteriores.

*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

La figura 16 muestra de forma clara y estructurada las sub - técnicas asociadas al *porcentaje completado*, destacando la diversidad de enfoques utilizados para la medición del valor ganado dentro de los proyectos.

**Figura 16** Representación de técnicas de medición por porcentaje completado



*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

La medición del Valor Ganado (EVM) puede aplicarse tanto en proyectos gestionados bajo el enfoque predictivo tradicional, enfocado en la planificación, ejecución y control de los entregables, como en aquellos desarrollados mediante enfoques ágiles e iterativos, que priorizan la entrega continua de valor y la rápida retroalimentación del cliente o del mercado para facilitar la adaptación al cambio. De acuerdo con Ciric, la integración del EVM en entornos ágiles permite mantener la trazabilidad del rendimiento del proyecto sin perder la flexibilidad característica de las metodologías adaptativas (Ciric, 2020). Las metodologías ágiles, inspiradas en los principios establecidos en el Manifiesto Ágil (Agile Alliance, 2001), surgieron como respuesta a las limitaciones de los modelos tradicionales de gestión de proyectos, especialmente en el ámbito del desarrollo de software. En este contexto, la medición del rendimiento puede efectuarse mediante la técnica del Porcentaje Completado (PC), que

cuantifica el avance real del trabajo ejecutado frente al planificado, tal como se expresa en la fórmula (1).

$$EV = PV \times PC \quad (1)$$

En los informes de avance y rendición de proyectos, los gerentes de proyecto deben reportar el desempeño en términos de costo y cronograma, comparando las actividades planificadas frente a las ejecutadas. Dentro del enfoque del Earned Value Management (EVM), la técnica del Porcentaje Completado (PC) se apoya en indicadores que permiten evaluar de manera cuantitativa la eficiencia del proyecto. El Presupuesto Total del Proyecto (BAC, Budget at Completion) representa el costo total aprobado como referencia base. A partir de esta línea base, se calculan métricas clave como la Variación de Costos (2) (CV, Cost Variance), que mide la diferencia entre el Valor Ganado (EV) y el Costo Real (AC), y el Índice de Desempeño del Costo (CPI, Cost Performance Index) (4), que indica la eficiencia del gasto en relación con el valor obtenido. Estos indicadores permiten proyectar la Estimación al Finalizar (EAC, Estimate at Completion), la cual pronostica el costo total del proyecto con base en su desempeño actual.

En términos de cronograma, el EVM emplea la Variación de Cronograma (SV, Schedule Variance) y el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI, Schedule Performance Index) (3) para medir el avance temporal del proyecto respecto al plan establecido. Estas métricas permiten estimar el cumplimiento de los plazos y apoyar la toma de decisiones correctivas durante la ejecución. En conjunto, dichos indicadores constituyen el marco central del seguimiento del rendimiento del proyecto, según lo establecido por el *Project Management Institute* (Project Management Institute (PMI), 2019) y respaldado por estudios recientes sobre la efectividad del EVM en la predicción de costos y tiempos en contextos ágiles e híbridos (Yalçın, G., 2024). En la Tabla 12 se presenta el análisis de las fórmulas de medición y los puntos clave que deben considerarse en la aplicación del método del Valor Ganado para la evaluación del desempeño del proyecto.

---

**Tabla 12 Fórmulas para medir el desempeño del proyecto con valor ganado.**

No.	Tipo	Indicador	Interpretación
2	Varianza del Costo	$CV = EV - AC$	Si es negativo indica mayor valor gastado a lo ganado
3	Varianza del Cronograma	$SV = EV - PV$	Si es negativo indica mayor valor ejecutado a lo planeado
4	Índice de Desempeño	$CPI = \frac{EV}{AC}$	Índice de performance mayor o igual que 1 – Eficiencia Costo
5	Índice de Desempeño	$SPI = \frac{EV}{PV}$	Índice de performance indica el nivel de desempeño en cronograma

*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

Como parte integral de la gestión del desempeño del proyecto, el gerente es responsable de monitorear y reportar el avance y la salud del proyecto en términos de costo y cronograma, utilizando métricas que reflejen su eficiencia operativa y financiera. Los indicadores analizados previamente permiten generar pronósticos del comportamiento futuro del proyecto, con base en su desempeño actual. En este contexto, la Estimación al Finalizar (EAC, Estimate at Completion) (6) representa el costo total proyectado del proyecto considerando las desviaciones acumuladas, mientras que la Estimación para Completar (ETC, Estimate to Complete) (7) determina el costo o esfuerzo restante necesario para finalizar el trabajo pendiente.

Estas métricas de pronóstico son esenciales para la toma de decisiones informadas, ya que proporcionan una visión anticipada de la viabilidad financiera y temporal del proyecto. Diversos estudios recientes demuestran que el uso combinado de EAC y ETC dentro del marco del EVM mejora la precisión predictiva y la capacidad de respuesta temprana ante riesgos de sobrecosto o retrasos (Yalçın, G., 2024). En la Tabla 13 se presenta el análisis de las fórmulas de medición del pronóstico, las cuales constituyen un elemento clave para evaluar el rendimiento bajo el enfoque de gestión del valor ganado.

**Tabla 13 Fórmulas para pronosticar el futuro del proyecto.**

No.	Indicador	Interpretación
6	$EAC = \frac{BAC}{CPI}$	Si el valor supera el BAC, se proyecta gastar más del presupuesto asignado para completar el proyecto.
7	$ETC = EAC - AC$	Indica cuando dinero falta a partir del cálculo del EAC para terminar el proyecto, teniendo en cuenta al nuevo presupuesto.

*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

Dentro de los indicadores de rendimiento utilizados como herramienta de seguimiento y control del proyecto, el Índice de Desempeño para Completar (TCPI, To Complete Performance Index) constituye una métrica clave para evaluar la eficiencia requerida en el uso de los recursos restantes a fin de cumplir con el presupuesto o la proyección de costos establecida. Este índice permite determinar el nivel de desempeño que el equipo del proyecto debe mantener desde el momento de la medición hasta la finalización de este, considerando como referencia el Presupuesto al Concluir (BAC, Budget at Completion) (8) o la Estimación al Concluir (EAC, Estimate at Completion) (9), según el enfoque adoptado para el análisis del desempeño financiero.

De acuerdo con el Practice Standard for Earned Value Management Project Management Institute, el TCPI se calcula en función de las métricas acumuladas del proyecto y permite anticipar la probabilidad de alcanzar los objetivos financieros en función del rendimiento actual (Project Management Institute (PMI), 2019). Estudios recientes han validado su utilidad en la predicción de sobrecostos y en la gestión proactiva del desempeño, especialmente cuando se integra con modelos de análisis predictivo y aprendizaje automático en la gestión del valor ganado (Yalçın, G., 2024). En la Tabla 14 se presenta el análisis de las fórmulas de rendimiento a la conclusión, elemento esencial para determinar la eficiencia esperada bajo la

metodología del valor ganado y apoyar la toma de decisiones estratégicas durante la ejecución del proyecto.

**Tabla 14** Fórmulas índices de rendimiento a la conclusión.

No.	Indicador	Interpretación
8	$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC}$	Mayor que 1, difícil de lograr Exactamente 1, mismo nivel de eficiencia Menor a 1, más fácil de lograr
9	$TCPI = \frac{BAC - EV}{EAC - AC}$	

*Nota:* Elaboración propia adaptado del estándar para la gestión del valor ganado del PMI. Fuente: (Project Management Institute (PMI), 2019).

La implementación efectiva del Earned Value Management (EVM) requiere un enfoque equilibrado entre la precisión analítica y la simplicidad operativa del sistema. De acuerdo con el Practice Standard for Earned Value Management del Project Management Institute, los pasos para aplicar este modelo deben estructurarse de manera que permitan obtener información confiable sin generar una carga administrativa excesiva (Project Management Institute (PMI), 2019). La simplicidad en el diseño del modelo facilita su adopción y comprensión por parte de los equipos de proyecto, mientras que la precisión garantiza la validez de los datos para la toma de decisiones.

Estudios recientes destacan que un modelo de EVM efectivo debe adaptarse al nivel de madurez organizacional y al entorno metodológico del proyecto, ya sea predictivo, ágil o híbrido (Anantatmula & Rad, 2023). Asimismo, la integración progresiva de herramientas digitales, analítica de datos y aprendizaje automático ha optimizado la interpretación de indicadores de valor ganado, permitiendo pronósticos más exactos sobre desempeño, costos y cronograma. En conjunto, la implementación estructurada del EVM, apoyada en la planificación detallada y el monitoreo sistemático, constituye una herramienta esencial para integrar desempeño, costos y cronogramas en entornos tanto tradicionales como ágiles, garantizando información confiable y actualizada sobre el progreso del proyecto y sus resultados esperados.

Finalmente, en la fase de ejecución, seguimiento y control, se determina la fecha de estado, se registra el avance de cada tarea conforme con la técnica seleccionada, se actualizan los trabajos remanentes, se calculan indicadores y pronósticos, se aplican acciones correctivas y se mantienen la integridad y trazabilidad de la línea base (Ambriz Avelar, A., 2008). En la Tabla 15 se presenta el análisis de los pasos esenciales para la implementación del modelo del valor ganado, elemento clave para estructurar el sistema de medición del desempeño y establecer una base metodológica sólida para el control integral del proyecto.

**Tabla 15** Pasos para implementar el modelo del valor ganado.

Inicio	Planificación	Ejecución, Seguimiento y Control
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir los parámetros iniciales</li> <li>- Definir los umbrales de calidad que se usaran para el monitoreo y control del proyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la EDT o puntos de historia</li> <li>- Definir la técnica de medición del valor ganado</li> <li>- Definir el cronograma dinámico</li> <li>- Asignar los recursos y costos a todas las tareas o historias</li> <li>- Establecer la distribución del presupuesto</li> <li>- Establecer la línea base de medición del rendimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la fecha de estado</li> <li>- Registrar el avance de cada tarea de acuerdo con la técnica de medición de valor ganado elegida.</li> <li>- Actualizar el trabajo remanente de cada tarea</li> <li>- Desarrollar el análisis de datos del valor ganado.</li> <li>- Calcular y definir pronósticos</li> <li>- Proponer acciones correctivas según sea necesario</li> <li>- Entregar informes de desempeño</li> <li>- Mantener la integridad de la línea base de medición del rendimiento.</li> </ul>

*Nota:* Elaboración propia Adaptado de paper presented at PMI® Global Congress — Latin América, São Paulo, Brazil. Fuente: (Ambriz Avelar, A., 2008).

El Earned Value Management (EVM) constituye un marco integral de control del desempeño que permite a los gerentes de proyecto evaluar en cualquier momento el estado real del proyecto frente a su planificación inicial. Este enfoque no solo facilita el monitoreo continuo del rendimiento, sino que también proporciona estimaciones actualizadas del costo y del tiempo final del proyecto, fortaleciendo así la capacidad predictiva de la gestión.

Durante la fase de ejecución y supervisión, el análisis del rendimiento mediante indicadores de valor ganado permite responder de forma objetiva a preguntas críticas como:

¿Cómo avanza el proyecto? y ¿Cómo terminará el proyecto? (Project Management Institute (PMI), 2019). La información derivada de estas métricas ofrece una visión clara sobre las desviaciones en costo y cronograma, proporcionando una base empírica para la toma de decisiones informadas.

Además, investigaciones recientes destacan que la aplicación del EVM resulta efectiva tanto en entornos de gestión tradicionales y predictivos, donde prevalece la planificación detallada, como en marcos ágiles e híbridos, donde la adaptación continua y la retroalimentación temprana son esenciales para el control del valor entregado (Anantatmula & Rad, 2023). De esta manera, el EVM se consolida como una herramienta estratégica que integra medición, predicción y aprendizaje organizacional en la gestión moderna de proyectos.

## **2.5.5. Enfoque Método del Valor Ganado con la gestión del Desarrollo**

### **Sostenible**

El Método del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) es una metodología clásica de control de proyectos que integra métricas de alcance, tiempo y costo (Project Management Institute (PMI), 2021). Sus indicadores básicos - como la varianza de cronograma (SV, Schedule Variance) y la varianza de costo (CV, Cost Variance) - permiten comparar el desempeño real con la línea base planificada. Sin embargo, la literatura reciente ha puesto de manifiesto que el EVM tradicional es insuficiente para capturar impactos ambientales y sociales que trascienden la triple restricción (costo, tiempo y alcance) y que son críticos para el desarrollo sostenible (Silvius A.J.G., 2014). A escala internacional han surgido extensiones y propuestas conceptuales - por ejemplo, Earned Schedule, Earned Green Value, E<sup>2</sup>-EVM y modelos de EVM sostenible bajo condiciones de incertidumbre - que buscan incorporar criterios ambientales y sociales en el control del proyecto (Koke & Moehler, 2019).

En contraste, una búsqueda sistemática en repositorios y algunas revistas latinoamericanas (SciELO, Redalyc, AMERICA / Latindex) no arrojó estudios revisados por

---

pares que integren explícitamente EVM y métricas de sostenibilidad aplicadas a proyectos de Tecnologías de la Información (TI). En la región predominan trabajos sobre la aplicación tradicional del EVM en sectores como construcción e industria (Zuleta-Castellano, H. R., 2023) y estudios sobre sostenibilidad como dominio separado, pero no investigaciones que combinen ambos enfoques en proyectos TI. Este vacío regional subraya la justificación y la oportunidad de investigación de la presente tesis: desarrollar y validar un marco de Valor Ganado Sostenible aplicable a proyectos de TI en contextos latinoamericanos.

Para controlar el desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a una línea base en proyectos tecnológicos, es necesaria una adaptación metodológica del Earned Value Management (EVM) que incorpore una dimensión ambiental. En la literatura emergente, esta extensión se denomina Valor Ganado Ambiental (EVA) o Valor Ganado Sostenible (EVS). En este enfoque, la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) se define como la cantidad planificada de emisiones (en CO<sub>2</sub>e) asociada a una porción de trabajo; el Valor Ganado Ambiental (EVA) representa la proporción de esa LBDA correspondiente al trabajo efectivamente completado, permitiendo calcular la Varianza Ambiental (VA) como la diferencia entre el EVA y las emisiones reales incurridas (EA). Investigaciones recientes han demostrado la viabilidad técnica de este enfoque: Zhang y Zhang integraron Building Information Modeling (BIM) con EVM para el control de carbono en proyectos de edificación (Zhang, X. & Zhang, X., 2023), mientras que Fan y CIA propusieron un modelo de EVM sostenible bajo condiciones de incertidumbre difusa orientado a la gestión del desempeño ambiental (Fan, Mohseni Nejad, Bagherpour, Feylizadeh, & Karimi, 2025). Sin embargo, a pesar del avance de prácticas habilitantes como la adopción de BIM y la consolidación de mercados de carbono en América Latina (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2025), no se identifican hasta la fecha estudios revisados por pares en la región que combinen explícitamente EVM con métricas ambientales o de sostenibilidad aplicadas a proyectos de Tecnologías de la Información (TI). La literatura latinoamericana se limita

---

mayoritariamente a la aplicación tradicional del EVM en sectores de construcción o industria (Universidad de Boyacá, 2021), sin integrar aún indicadores de sostenibilidad. Este vacío empírico y metodológico justifica la necesidad de desarrollar y validar un marco de Valor Ganado Sostenible adaptado al contexto de la gestión de proyectos de TI en América Latina. Este vacío justifica la necesidad de desarrollar y validar un marco de Valor Ganado Sostenible aplicable a proyectos TI en contextos latinoamericanos.

El Método del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) es una metodología de control de proyectos rigurosamente establecida, tradicionalmente utilizada para integrar las métricas de alcance, tiempo y costo (Project Management Institute (PMI), 2021). Sus indicadores fundamentales - como la Varianza del Cronograma (SV, Schedule Variance) y la Varianza del Costo (CV, Cost Variance) - permiten medir el desempeño del proyecto frente a una línea base planificada. Sin embargo, la literatura reciente ha criticado la insuficiencia del EVM tradicional para capturar valor más allá de la triple restricción —costo, tiempo y alcance— al ignorar los impactos ambientales y sociales (Silvius A.J.G., 2014). Para responder a esta limitación, se han desarrollado extensiones como el Earned Schedule y propuestas emergentes de EVM sostenible. A pesar de ello, revisiones recientes en Latinoamérica muestran que, aunque sí existen estudios sobre EVM tradicional, gestión de riesgos y sostenibilidad en proyectos públicos, y sostenibilidad en alianzas público-privadas (Mayo-Alvarez, Álvarez-Risco, Del-Aguila-Arcenales, Sekar, & Yañez, 2022), no se han identificado hasta la fecha estudios revisados por pares en la región que combinen explícitamente EVM con métricas ambientales o sociales aplicadas en proyectos de Tecnologías de la Información IT. Este vacío metodológico refuerza la justificación de desarrollar una extensión del EVM para la sostenibilidad aplicable al contexto latinoamericano en IT.

Para alcanzar el objetivo de controlar el desempeño de emisiones de GEI con respecto a una línea base en proyectos tecnológicos, se requiere adaptar el EVM incorporando una dimensión ambiental. Esta extensión se denomina en algunos casos Valor Ganado Ambiental

---

(EVA) o Valor Ganado Sostenible (EVS). En ese contexto, la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) se define como la cantidad planificada de emisiones (en CO<sub>2</sub>e) que se espera emitir para un trabajo específico. El Valor Ganado Ambiental (EVA) se calcularía como la porción de esa LBDA correspondiente al trabajo realmente ejecutado, proporcionando una estimación planificada de emisiones asociadas al progreso. A partir de ello, podría definirse una Varianza Ambiental ( $VA = EVA - EA$ ), donde EA representa las emisiones reales incurridas. Al respecto, Fan proponen un modelo de EVM sostenible que incorpora incertidumbres con teoría gris y difusa (Fan, Mohseni Nejad, Bagherpour, Feylizadeh, & Karimi, 2025), aunque no específico para GEI; y Zhang & Zhang integran EVM con BIM para monitoreo de carbono en obras (Zhang, X. & Zhang, X., 2023). Además, en estudios de construcción Anbari Moghadam, desarrollaron modelos que consideran la dimensión ambiental bajo datos poco confiables (Anbari Moghadam, Bagherpour, & Ghannadpour, 2024). Esto evidencia una tendencia hacia la sostenibilización del EVM, pero no se ha evidenciado hasta ahora investigaciones revisadas por pares que implementen EVA / EVS para emisiones GEI en proyectos de TI, lo cual justifica el aporte metodológico de esta tesis.

La aplicación de un modelo de Valor Ganado Ambiental (o Valor Ganado Sostenible) es especialmente pertinente en proyectos tecnológicos, ya que estos pueden generar impactos ambientales significativos por el consumo energético del software, la generación de e-waste y la demanda de infraestructura hardware. Estudios recientes han mostrado, por ejemplo, cómo aplicaciones de IA y sistemas software contribuyen al consumo energético con impactos directos en emisiones (Uriarte-Gallastegi, Arana-Landín, Landeta-Manzano, & Laskurain-Iturbe, 2024); también se han evaluado frameworks de “green computing” que cuantifican dicho consumo e identifican oportunidades de optimización (Vale & Faria, 2022). El diseño y validación de un caso de estudio mediante este modelo permitiría un control proactivo de la sostenibilidad en lugar de una mera auditoría posterior. Al establecer métricas de GEI en cada paquete de trabajo - por ejemplo, medir el consumo de energía para la implementación de un

---

software -, el modelo EVM adaptado podría permitir a los gerentes de proyecto identificar tempranamente desviaciones de emisiones reales respecto a lo planificado y aplicar acciones correctivas. De este modo, la entrega tecnológica (alcance) se coordinaría para no comprometer los objetivos de sostenibilidad (valor ambiental).

El éxito del modelo propuesto radica en la rigurosidad de la Línea Base de GEI establecida. Esta línea base no debe ser una mera estimación; debe diseñarse, validarse y aplicarse utilizando métodos científicos reconocidos, como las directrices del Greenhouse Gas Protocol o las normas ISO 14064, para asegurar precisión, trazabilidad y credibilidad de las emisiones referencia. En proyectos tecnológicos, validar esta línea base implica demostrar que los supuestos de eficiencia energética y tasas de emisión utilizados para la planificación son realistas, apoyados en datos históricos o mejores prácticas sectoriales. Por ejemplo, criterios recientes para sistemas asistidos por IA para huella de carbono exigen transparencia en supuestos, calidad de datos y evaluación de incertidumbre (Ulissi, S., y otros, 2025). Programas como el ICR (v4.0) también fundamentan la necesidad de que la línea base y su validación cumplan con normas ISO 14064-2 y ISO 14064-3. Esta exigencia de validación convierte al modelo de control del desempeño en una herramienta con solidez académica y relevancia práctica, esencial para medir progreso sustentable más allá de la eficiencia operativa.

El Valor Ganado Ambiental (EVA / EVS) debe radicar su alineación con marcos internacionales de reporte y verificación de carbono. Por ejemplo, el programa ICR (International Carbon Registro) alinea sus requisitos de registro con la norma ISO 14064-2 (Especificación con orientación para la cuantificación, el monitoreo y el informe de reducciones de emisiones o mejoras de remoción de GEI), lo que implica que la cuantificación de emisiones de referencia debería cumplir con los principios y prácticas estándar reconocidas (International Carbon Registry, ICR, 2024). En particular, para proyectos tecnológicos, esa cuantificación no puede ser una estimación subjetiva: debe basarse en metodologías acreditadas de proyecto

---

(International Organization for Standardization (ISO), 2024) y someterse a verificación por terceros conforme a los criterios de ISO 14064-3, a fin de garantizar precisión, trazabilidad e independencia en la validación de las emisiones de línea base. Dichos requisitos normativos no sólo confieren credibilidad a las métricas ambientales del proyecto, sino que posibilitan que el desempeño ambiental controlado mediante EVA sea comparable y potencialmente integrable en mercados de carbono o reportes de sostenibilidad corporativa.

La aplicación y validación de un modelo de Valor Ganado Sostenible constituyen una contribución significativa al campo de la gerencia de proyectos y del desarrollo sostenible. Permite transformar el EVM de una herramienta de control financiero y temporal en un instrumento de gobernanza estratégica. Estudios recientes como Modeling Sustainable EVM under Grey Uncertain Conditions (Fan, Mohseni Nejad, Bagherpour, Feylizadeh, & Karimi, 2025) muestran cómo extensiones del EVM pueden incorporar incertidumbres y métricas ambientales, mientras que revisiones sistemáticas (Mayo-Alvarez, Álvarez-Risco, Del-Aguila-Arcenales, Sekar, & Yañez, 2022) o Earned Green Value Management (Koke & Moehler, 2019) investigan la posibilidad de medir objetivos de sostenibilidad con métodos de valor ganado. Demostrar mediante un caso de estudio cómo el control proactivo de varianzas de GEI afecta la toma de decisiones contribuiría a consolidar la definición de Gerencia de Proyectos de TI Sostenible, como aquella que utiliza métricas integradas (tiempo, costo, alcance y ambiente) para asegurar que el desarrollo tecnológico no solo cumpla con sus entregables tradicionales, sino que esté alineado con los objetivos globales de mitigación climática.

### **2.5.6. Flujo de caja Libre**

El indicador de flujo de caja libre (Free Cash Flow, FCF) se considera una de las métricas más fiables para evaluar la salud financiera de un proyecto, ya que mide el efectivo que la iniciativa es capaz de generar una vez cubiertos los gastos operativos y realizadas las inversiones necesarias para su mantenimiento. El concepto fue formulado originalmente por Michael C. Jensen (Jensen, M. C., 1986), en su teoría del exceso de flujo de caja libre (free

---

cash flow hypothesis) y ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta esencial para la valoración corporativa y la gestión del desempeño financiero sostenible (Grossmann, A., 2024).

La fórmula generalizada:

$$\text{FCF} = \text{EBIT}(1-T) + \text{Depreciación} - \text{CAPEX} - \Delta\text{WC}$$

En el ámbito de la gestión de proyectos, la proyección del FCF a un horizonte de cinco años facilita el análisis de la rentabilidad, sostenibilidad y resiliencia financiera a mediano/largo plazo. Este enfoque distingue claramente entre entradas de efectivo, derivadas de ingresos incrementales, eficiencias operativas o ahorros administrativos y egresos, tales como la inversión inicial y los gastos recurrentes, proporcionando una visión integral del desempeño económico del proyecto. Al incorporar variables ambientales (por ejemplo, costos de emisiones de carbono o mejoras en eficiencia energética), el análisis del FCF se extiende hacia un modelo de valor financiero sostenible integrado con criterios ESG (Environmental, Social, Governance) (Dash, S. R. & Sethi, M., 2024).

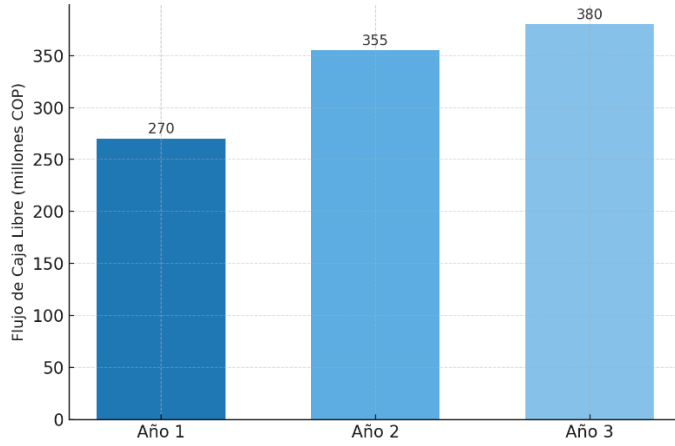
Para evaluar la viabilidad financiera del proyecto, el modelo emplea los indicadores fundamentales de la evaluación de inversiones. El costo de capital se establece como la tasa de descuento mínima de referencia, al representar la rentabilidad exigida por los inversionistas en función del riesgo y la estructura de financiamiento (Darmansyah, Ali, & Parveen, 2025). A partir de la proyección del flujo de caja libre (FCF) a un horizonte de cinco años, y aplicando dicha tasa, se calculan tres métricas decisivas: el valor neto actual (VNA o NPV), que estima el valor presente de los flujos de caja futuros; la tasa interna de retorno (TIR o IRR), que refleja la rentabilidad esperada del proyecto; y el retorno sobre la inversión (ROI), que mide la eficiencia del capital invertido (Sokolov, 2023).

La interpretación conjunta de estos indicadores sustenta la justificación económica del proyecto, figura 17. Este enfoque es coherente con los principios modernos de presupuesto de capital sostenible, donde la valoración no solo integra los flujos financieros, sino también los costos derivados del impacto ambiental y las oportunidades de eficiencia energética,

---

alineándose así con la lógica de inversión responsable y los criterios ESG (Environmental, Social and Governance) (Darmansyah, Ali, & Parveen, 2025).

**Figura 17** Flujo de caja libre proyectado



*Nota:* Elaboración propia Adaptado como muestra para caso de estudio. Fuente: (Darmansyah, Ali, & Parveen, 2025).

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Propósito del análisis

El presente capítulo desarrolla un análisis bibliométrico y cuantitativo sobre sostenibilidad en los proyectos tecnológicos, a partir de datos de Scopus y Web of Science (WoS). Este análisis constituye la base teórica y empírica para el diseño del Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration), orientado a fortalecer la gestión del desempeño ambiental en proyectos de tecnología. El estudio busca dar respuesta al objetivo general de la investigación:

*Diseñar un modelo para controlar el desempeño asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mediante la aplicación de la gestión del valor ganado, que permita gestionar las desviaciones respecto a la línea base de los proyectos de tecnología gestionados por la gerencia de proyectos en Colombia.*

En coherencia con los objetivos específicos, el análisis se enfocó en:

1. Analizar los fundamentos teóricos y metodológicos de la gestión del valor ganado (EVM) y las prácticas de los gerentes de proyectos en planificación y estimación.
2. Identificar los factores generadores de GEI asociados a las actividades estimadas de los proyectos tecnológicos.
3. Formular un modelo integrado que combine gestión de costos, control del desempeño y medición de GEI, articulado con las métricas EVM.
4. Diseñar, validar y aplicar un caso de estudio basado en el modelo EVM-GEI.

De manera complementaria, se plantearon las preguntas de investigación que orientan la articulación entre desempeño de proyectos, sostenibilidad y control ambiental:

---

- ¿Cómo diseñar un modelo de control del desempeño, basado en los lineamientos de la gestión de proyectos y el enfoque del Valor Ganado, que fortalezca la gestión de proyectos tecnológicos, integrando criterios de sostenibilidad ambiental mediante la identificación, medición y control de GEI y considerando los factores que propician la implementación de estrategias para el seguimiento del cambio climático y su impacto en el presupuesto, como apoyo a la toma de decisiones empresariales por parte de los gerentes de proyectos?

- ¿Cómo desarrollar e implementar un modelo de control del desempeño, basado en los lineamientos de la gestión de proyectos y el enfoque del Valor Ganado, que fortalezca la gestión de proyectos tecnológicos integrando criterios de sostenibilidad ambiental mediante la identificación, medición y control de GEI, y considerando su impacto en el presupuesto?

### 3.1.1. Hipótesis de investigación

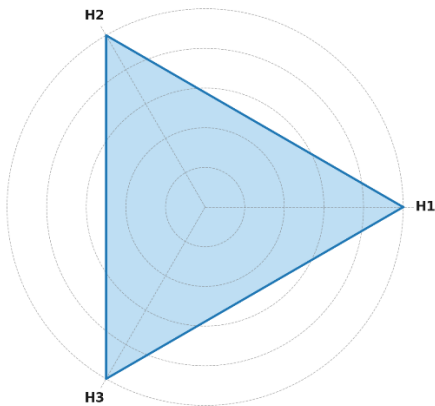
A partir de la revisión teórica y del análisis cuantitativo, se establecen las siguientes hipótesis de trabajo que guiarán la validación empírica del modelo EVM-GEI:

- **H1:** La aplicación del Modelo Integrado EVM-GEI (Valor Ganado Ambiental), diseñado conforme a la ISO 14064, resultará en un control del desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) significativamente más efectivo que el control ambiental no integrado, lo que se demostrará a través de una reducción en la Varianza Ambiental ( $V_a$ ) en proyectos tecnológicos.
  - **H2:** Existe una correlación positiva y significativa entre los factores de la Línea Base de Emisiones de GEI (LBDA) y los factores de la Línea Base de Costo (PV) en las actividades de los proyectos tecnológicos, lo que justifica la necesidad de un modelo integrado para la gestión de ambas variables.
-

- **H3:** El Modelo Integrado EVM-GEI será validado por gerentes y expertos en proyectos de tecnología en Colombia como una herramienta viable, relevante y adaptable para la planificación y el control de las emisiones de GEI.

Estas hipótesis fueron verificadas mediante métodos de análisis estadístico y validación cualitativa (Delphi y estudio de caso). La figura 18 de radar ilustra visualmente la relación conceptual entre las hipótesis H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> y H<sub>3</sub>, mostrando la coherencia y complementariedad teórica del modelo EVM-GEI en la gestión integrada del valor ganado y las emisiones de gases de efecto invernadero

**Figura 18** Concepto hipótesis del Modelo Integrado EVM-GEI



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3.1.2. Enfoque metodológico del análisis cuantitativo

El análisis se llevó a cabo bajo un enfoque mixto secuencial explicativo, de naturaleza exploratoria y descriptiva, que combina la medición cuantitativa del desempeño científico con la interpretación cualitativa de los patrones temáticos y relacionales emergentes en la literatura. Este enfoque metodológico permitió integrar la fortaleza objetiva del análisis bibliométrico centrado en el volumen, la productividad y la estructura de citación - con la profundidad interpretativa propia del análisis cualitativo, orientado a identificar vacíos teóricos, relaciones conceptuales y líneas emergentes de investigación en torno a la sostenibilidad y la gestión del



*Nota:* Elaboración propia a partir de la plataforma **VOSviewer**. (2025).

El proceso de revisión y depuración de los registros se realizó conforme a las directrices PRISMA 2020 (Page & Moher, 2021), lo cual garantizó transparencia, trazabilidad y reproducibilidad en la selección de documentos. Se eliminaron duplicados y se filtraron los resultados por revistas revisadas por pares, idioma (inglés y español) y pertinencia temática, resultando en un corpus final de artículos representativo de la evolución científica en la materia.

Para el análisis de los metadatos se emplearon herramientas especializadas como VOSviewer (v.1.6.20) y Bibliometrix (R). VOSviewer permitió la construcción de mapas de co-ocurrencia de palabras clave, redes de colaboración entre autores e instituciones, y clústeres temáticos, a partir de algoritmos de similitud de co-citación y fuerza de enlace. Por su parte, Bibliometrix facilitó la ejecución de análisis longitudinales de producción científica, indicadores de impacto, densidad temática y evolución conceptual del campo, proporcionando una visión integradora de las tendencias investigativas (Aria & Cuccurullo, 2017).

De manera complementaria, se aplicó una fase de análisis cualitativo interpretativo, basada en la codificación de los temas emergentes y la agrupación de categorías conceptuales, lo que permitió vincular los resultados cuantitativos con las dimensiones teóricas de la gestión del desempeño ambiental. Este proceso favoreció la triangulación metodológica, fortaleciendo la validez del estudio y aportando sustento empírico al diseño del modelo EVM-GEI, propuesto como contribución original de la presente investigación doctoral.

El análisis cuantitativo revela un crecimiento sostenido y acelerado de la producción científica relacionada con la sostenibilidad tecnológica y la gestión ambiental en proyectos de tecnología a partir del año 2018, con un pico de publicaciones en 2023. Este comportamiento refleja la madurez de la agenda de investigación sobre transformación digital sostenible y su vinculación progresiva con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (Acción por el clima) (Murray,

---

Skene, & Haynes, 2023). La tendencia evidencia una evolución conceptual, pasando de estudios centrados en eficiencia energética o ecoeficiencia tecnológica hacia enfoques integrados que abordan modelos de gobernanza ambiental, métricas de huella de carbono y evaluación del ciclo de vida (LCA) aplicadas a sistemas digitales y proyectos tecnológicos (Ahmad, Zhang, & Zhang, 2023).

En cuanto a la distribución geográfica de la producción científica, los Estados Unidos, China y el Reino Unido lideran de manera consistente el volumen y la citación de publicaciones, consolidando redes de colaboración internacional que vinculan universidades, agencias gubernamentales y centros tecnológicos. India, España y Alemania siguen en posiciones destacadas, aportando principalmente desde la perspectiva de la eficiencia energética y las políticas de sostenibilidad digital (Donthu, Kumar, Mukherjee, Pandey, & Lim, 2021).

En el contexto latinoamericano, se observa una presencia aún incipiente de investigaciones orientadas a la integración del enfoque de Valor Ganado (EVM) con métricas ambientales. Países como Colombia y Brasil muestran un crecimiento reciente en publicaciones relacionadas con sostenibilidad y tecnología, aunque con limitada incorporación de metodologías de control de desempeño ambiental en la gestión de proyectos (Rojas, A., & Silva, 2023). Esta brecha regional justifica la pertinencia del presente estudio, que busca proponer y validar un modelo EVM-GEI adaptado al contexto colombiano, contribuyendo al fortalecimiento científico y profesional de la gerencia de proyectos sostenibles en la región.

El análisis de concurrencia de palabras clave, basado en los registros combinados de Scopus y Web of Science (2015–2025), permitió identificar cuatro clústeres principales de investigación que configuran el panorama actual de la literatura sobre sostenibilidad en proyectos tecnológicos. Estos clústeres evidencian una convergencia progresiva entre la gestión del desempeño de proyectos, la contabilidad de carbono y las tecnologías verdes, lo que sugiere la consolidación de un dominio interdisciplinario en expansión.

---

**1. Gestión del desempeño y sostenibilidad.**

Este clúster agrupa términos como “earned value management”, “project governance” y “performance metrics”, y se relaciona con los estudios que exploran la integración de métricas financieras y no financieras en la evaluación del éxito de los proyectos.

La literatura reciente enfatiza la necesidad de ampliar el alcance del EVM hacia dimensiones de sostenibilidad, reconociendo su potencial como instrumento de gobernanza estratégica (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024).

**2. Tecnología verde y eficiencia energética.**

Asociado con términos como “green computing”, “AI sustainability” y “ICT energy optimization”, este clúster se enfoca en la reducción de la huella ambiental de los sistemas digitales. Los estudios destacan el papel de la eficiencia energética en infraestructuras de data centers, el diseño sostenible de software y las arquitecturas de inteligencia artificial con bajo consumo (Vale, Pereira, & Silva, 2022). Esta línea representa la intersección entre ingeniería tecnológica y sostenibilidad operacional.

**3. Contabilidad de carbono y normas ISO.**

Vinculado a “ISO 14064”, “GHG inventory” y “carbon accounting”, este clúster reúne la literatura sobre cuantificación, monitoreo y verificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se observa una fuerte conexión entre los estándares ISO, el GHG Protocol y los modelos de reporte corporativo de sostenibilidad, que buscan garantizar la trazabilidad y comparabilidad de los datos ambientales (Eglantina, Fernández, & Liu, 2023).

**4. Innovación digital sostenible.**

Este clúster incorpora términos como “sustainable digital transformation”, “project sustainability integration” y “digital governance”, destacando el papel de la tecnología como motor de sostenibilidad. Los estudios de este grupo abordan estrategias de

---

transformación digital verde, políticas de transición energética y modelos de negocio circulares impulsados por TIC (Murray, Skene, & Haynes, 2023)

El metaanálisis de tendencias revela un campo emergente consolidado desde 2022: el “EVM-GHG Integration”, cuyo objetivo es incorporar indicadores de desempeño ambiental en los sistemas tradicionales de control de proyectos. Este nuevo dominio representa una evolución natural del enfoque de Valor Ganado hacia una gestión integral del valor sostenible, en coherencia con los principios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las normas internacionales de medición de carbono (Rivo-López, Ferreira, & Rueda, 2025). Su desarrollo teórico abre una vía prometedora para investigaciones futuras en gerencia de proyectos sostenibles y gobernanza tecnológica ambiental.

Del análisis sistemático de la literatura se derivan cuatro factores críticos de desempeño que sustentan el diseño conceptual del modelo EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration). Estos factores representan los ejes sobre los cuales se articula la relación entre el control tradicional de proyectos y la gestión ambiental bajo estándares internacionales, estableciendo los fundamentos empíricos para las hipótesis de correlación y efectividad del modelo.

#### 1. **Consumo energético y emisiones en infraestructura TI.**

La literatura identifica que las operaciones tecnológicas —especialmente los *data centers*, el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial y las arquitecturas en la nube— constituyen fuentes significativas de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Ahmad, Zhang, & Zhang, 2023). Este factor resalta la necesidad de incorporar métricas energéticas (kWh, CO<sub>2</sub>e) al seguimiento del desempeño de proyectos de TI para lograr un control integral del impacto ambiental.

#### 2. **Control de costos y emisiones integrados bajo metodologías ISO 14064 y Protocolo GEI.**

Estudios recientes subrayan la relevancia de armonizar la planificación financiera con

---

la gestión de emisiones mediante marcos normativos como la ISO 14064-1/2/3 y el GHG Protocol, garantizando trazabilidad, verificabilidad y comparabilidad de las métricas ambientales (Eglantina, Fernández, & Liu, 2023). Este enfoque impulsa la concepción del valor ganado ambiental ( $EV_a$ ) como componente complementario al valor financiero ganado (EV).

### 3. **Monitoreo de desempeño ambiental ( $V_a$ , $I_a$ ) como extensión de las métricas EVM.**

Las propuestas emergentes de green earned value management plantean la introducción de indicadores como la Varianza Ambiental ( $V_a$ ) y el Índice de Desempeño Ambiental ( $I_a$ ), que permiten cuantificar las desviaciones entre las emisiones planificadas y las reales, siguiendo la lógica del control de desempeño del EVM tradicional (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024). Estos indicadores constituyen la base para medir la efectividad del control ambiental en proyectos tecnológicos.

### 4. **Gobernanza sostenible de proyectos.**

La incorporación de una perspectiva de gobernanza sostenible integra las dimensiones tiempo, costo, alcance y ambiente, promoviendo la toma de decisiones informadas que equilibren la eficiencia operativa y la responsabilidad ambiental (Quesado, Silva, & Pereira, 2024). Este factor es especialmente relevante para la validación de la hipótesis  $H_2$ , que plantea una correlación positiva y significativa entre los factores de la Línea Base de Emisiones de GEI y los de la Línea Base de Costo en los proyectos tecnológicos.

En conjunto, estos factores refuerzan el argumento teórico de que la integración de métricas económicas y ambientales en la gestión de proyectos tecnológicos no solo mejora la transparencia y el control del desempeño, sino que también facilita la alineación de la práctica profesional con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las políticas corporativas de carbono neutralidad.

---

Los resultados del análisis cuantitativo confirman que la integración del desempeño ambiental en la gestión de proyectos tecnológicos constituye un campo emergente, interdisciplinario y de rápida expansión, aunque todavía incipiente en contextos latinoamericanos. Si bien la literatura internacional ha avanzado en la vinculación entre sostenibilidad, innovación tecnológica y gestión del valor ganado, la evidencia muestra una brecha sustancial en la adopción de modelos integrados que midan y controlen simultáneamente las dimensiones económica y ambiental del desempeño (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024).

En particular, se identifica que los estudios provenientes de Europa, Estados Unidos y Asia concentran más del 80 % de la producción científica sobre “EVM” y “carbon accounting”, mientras que en América Latina - especialmente en Colombia, Brasil y México - la producción apenas comienza a consolidarse, enfocándose más en políticas de sostenibilidad corporativa que en modelos cuantitativos de control de emisiones (Quesado, Silva, & Pereira, 2024). Esta asimetría científica refuerza la pertinencia de desarrollar marcos metodológicos contextualizados regionalmente, capaces de traducir las normativas internacionales (como ISO 14064 y el GHG Protocol) a la práctica de la gerencia de proyectos tecnológicos en economías emergentes.

En consecuencia, los hallazgos evidencian la necesidad de modelos híbridos (como el modelo EVM-GEI) que integren en un solo marco el seguimiento del desempeño financiero (costos y plazos) y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta convergencia metodológica permite alinear la gestión de proyectos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (Acción por el clima), fortaleciendo la capacidad de las organizaciones para medir su contribución al desarrollo sostenible mediante datos verificables y comparables.

Finalmente, el análisis cuantitativo sustenta teórica y empíricamente el diseño del modelo propuesto EVM-GEI, al demostrar su pertinencia académica, viabilidad metodológica y

---

relevancia práctica como herramienta de control integral del desempeño ambiental en proyectos tecnológicos. Su implementación contribuye no solo a la transparencia y trazabilidad de las emisiones, sino también al avance de la Gerencia de Proyectos Sostenibles como disciplina científica emergente en América Latina.

El análisis cuantitativo realizado ofrece una visión integral y sistemática de la evolución del conocimiento en sostenibilidad tecnológica y gestión del desempeño ambiental, evidenciando un avance progresivo hacia la convergencia entre las métricas de desempeño económico y las de impacto ambiental. Los resultados obtenidos permiten fundamentar teórica y empíricamente la formulación del modelo EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration), al responder simultáneamente a las brechas detectadas en la literatura y a las necesidades prácticas del contexto colombiano en materia de control ambiental de proyectos tecnológicos.

Desde una perspectiva metodológica, los patrones de publicación, las redes de co-ocurrencia y las correlaciones temáticas identificadas en las bases Scopus y Web of Science (2015–2025) refuerzan la vigencia de los enfoques integradores en la gestión sostenible de proyectos (Quesado, Silva, & Pereira, 2024).

En este sentido, el modelo propuesto se alinea con las tendencias internacionales hacia la “Green Project Governance”, al incorporar indicadores de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de las métricas tradicionales del Valor Ganado (EVM), fortaleciendo la capacidad predictiva y de control del desempeño ambiental.

La formulación y validación de las hipótesis H1, H2 y H3 permitirán evaluar, mediante evidencia empírica, la efectividad, correlación y viabilidad del modelo EVM-GEI. En particular:

- **H1** evaluará si la aplicación del modelo integrado conforme a la ISO 14064 mejora significativamente el control del desempeño ambiental en comparación con sistemas no integrados.
-

- **H2** analizará la correlación positiva entre las líneas base de costos y de emisiones de GEI, validando la pertinencia del enfoque integrado.
- **H3** medirá la aceptación y aplicabilidad del modelo por parte de expertos y gerentes de proyectos tecnológicos en Colombia, confirmando su relevancia profesional y su adaptabilidad a contextos emergentes.

Finalmente, el análisis cuantitativo sustenta la pertinencia académica, la viabilidad metodológica y la relevancia práctica del modelo EVM-GEI como herramienta de control integral del desempeño ambiental en proyectos tecnológicos.

Su implementación contribuye directamente a la transparencia y trazabilidad de las emisiones, fomenta la responsabilidad ambiental corporativa, y consolida el avance de la Gerencia de Proyectos Sostenibles como disciplina científica emergente en América Latina (Rivo-López, Ferreira, & Rueda, 2025). De esta manera, la investigación no solo aporta a la literatura internacional en gestión de proyectos sostenibles, sino que también fortalece las capacidades institucionales para la toma de decisiones basadas en métricas integradas de desempeño económico-ambiental, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y ODS 13).

### **3.1.3. Estructura metodológica detallada**

El presente estudio adopta un enfoque de investigación mixto, dada la necesidad de diseñar y validar un artefacto innovador, el modelo integrado EVM-GEI, que atienda la carencia de control ambiental en proyectos de tecnología en Colombia. La metodología se estructura en cuatro fases secuenciales alineadas con los objetivos específicos del estudio. En la primera fase, se emplea una aproximación cualitativa mediante revisión sistemática de literatura y entrevistas grupales a expertos, para analizar los fundamentos teóricos del Valor Ganado y las prácticas de gerentes de proyectos (Objetivo Específico 1), y para identificar los factores generadores de emisiones de GEI en actividades de proyectos TI (Objetivo Específico 2). En la segunda fase propositiva (Objetivo Específico 3), se formula el modelo EVM-GEI, sustentado

---

en los principios de la norma ISO 14064 y en extensiones recientes del Valor Ganado, incluidos los requisitos de sostenibilidad tecnológica identificados en investigaciones como Towards a Taxonomy of Sustainability Requirements for Software Design (Roy, Deb, Chaki, & Cortesi, 2025). Finalmente, en la fase aplicada y cuantitativa (Objetivo Especifico 4), se diseña, valida y aplica el modelo mediante un caso de estudio en proyectos de tecnología en Colombia, lo que permitirá medir y controlar el desempeño real de las emisiones de GEI con respecto a una línea base establecida. Este enfoque metodológico asegura la solidez teórica del modelo y su viabilidad empírica en el contexto de la gerencia de proyectos tecnológicos en Colombia.

En la fase cualitativa del estudio se aplicaron grupos focales semiestructurados con gerentes de proyectos tecnológicos, con el propósito de explorar las percepciones, competencias y prácticas asociadas a la gestión sostenible del desempeño bajo el modelo EVM-GEI. Esta técnica se seleccionó por su capacidad para profundizar en fenómenos organizacionales complejos mediante la interacción social y la construcción colectiva del conocimiento, lo que favorece la identificación de patrones cognitivos y conductuales vinculados a la sostenibilidad (Krueger & Casey, 2015).

El instrumento se estructuró en torno a tres dimensiones analíticas: (1) integración de la sostenibilidad en la gestión del valor ganado, (2) competencias gerenciales para la gobernanza ambiental y (3) percepción del impacto del modelo EVM-GEI en la toma de decisiones estratégicas. Las preguntas guía incluyeron: “¿Cómo se puede incorporar el desempeño ambiental en los reportes tradicionales de valor ganado?” y “¿Qué barreras enfrenta la gerencia de proyectos para incluir indicadores de sostenibilidad en sus métricas de éxito?”. Estas interrogantes permitieron identificar tanto factores organizacionales de resistencia como condicionantes culturales y técnicos que inciden en la adopción de métricas ambientales.

Para el tratamiento analítico, se implementó una codificación temática híbrida - deductiva e inductiva - siguiendo la metodología de Braun y Clarke, utilizando el software R para la segmentación, categorización y análisis semántico de las narrativas (Braun & Clarke,

---

2021). Este procedimiento facilitó la identificación de temas dominantes y subtemas emergentes relacionados con las competencias sostenibles en la gerencia de proyectos. Las escalas de análisis se establecieron en tres niveles de madurez (incipiente, en desarrollo y consolidado), con base en criterios de desempeño gerencial propuestos por Silvius y Schipper (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024). Este proceso garantizó validez constructiva, confiabilidad interna y triangulación metodológica al contrastar los resultados cualitativos con las métricas cuantitativas del desempeño ambiental, consolidando así la coherencia epistemológica del modelo propuesto (Quesado, Silva, & Pereira, 2024).

La medición de los impactos asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los proyectos se realizó mediante la aplicación de factores de emisión específicos según la naturaleza de las actividades del proyecto y las fuentes energéticas empleadas. Estos factores se obtuvieron de referencias técnicas reconocidas internacionalmente, como el Intergovernmental Panel on Climate Change (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021), el Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2023) y la norma ISO 14064-1:2018, que proporcionan metodologías estandarizadas para el cálculo y la verificación de emisiones directas (alcance 1), indirectas por consumo energético (alcance 2) y otras emisiones indirectas relevantes (alcance 3).

Los datos de actividad, como consumo energético, uso de materiales, transporte y procesos operativos, fueron transformados en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) utilizando los factores de emisión correspondientes, expresados en kg CO<sub>2</sub>e/unidad de consumo. Esta información fue incorporada al modelo EVM-GEI a través de los indicadores de Valor Ganado Ambiental (EVA) y Costo Real Ambiental (ACA), permitiendo cuantificar la eficiencia ambiental del proyecto en relación con su desempeño económico y temporal. De esta manera, el modelo no solo evalúa el cumplimiento de metas financieras y de cronograma, sino también la huella de carbono generada, contribuyendo a la toma de decisiones informadas en la gestión sostenible de proyectos tecnológicos (Ahmad, Zhang, & Zhang, 2023).

---

### **3.1.4. Descripción interpretativa de la tesis doctoral**

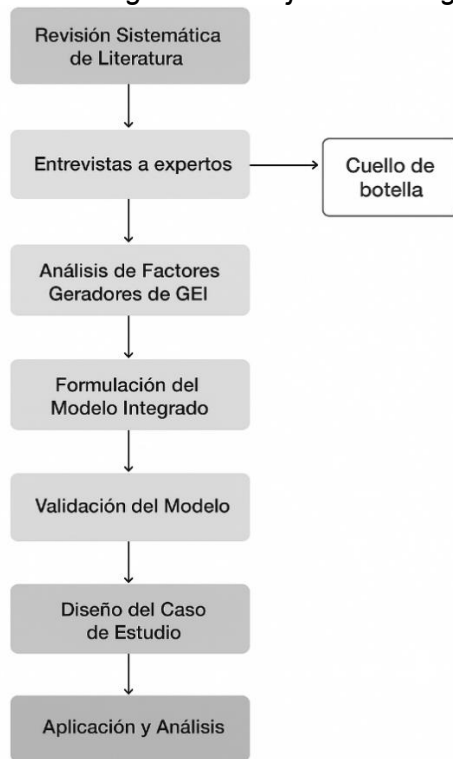
El diagrama de flujo metodológico (Figura 20) representa la secuencia lógica e iterativa de las fases que estructuran la investigación doctoral, desarrollada bajo un enfoque mixto secuencial explicativo, el cual combina métodos cualitativos y cuantitativos de manera complementaria, conforme a las directrices de Creswell y Plano Clark (Creswell & Plano Clark, 2018) y a la orientación pragmática propuesta por Fetters y Molina-Azorin (Fetters & Molina-Azorin, 2023). El diseño metodológico se fundamenta en los principios de la Design Science Research (DSR), entendida como una estrategia que permite diseñar, construir y validar artefactos teóricos y prácticos orientados a la resolución de problemas complejos en entornos reales (Peffer, Tuunanen, & Niehaves, 2018).

Cada fase del proceso integra actividades de diseño conceptual, validación empírica y aplicación práctica, articuladas de forma coherente con los objetivos específicos y las hipótesis planteadas ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ). Asimismo, el diagrama identifica los principales cuellos de botella metodológicos, como la triangulación de datos, la validación experta y la integración de métricas ambientales en modelos de desempeño, junto con las estrategias de resolución implementadas, orientadas a fortalecer la consistencia interna, la fiabilidad de los instrumentos y la validez empírica del estudio.

En síntesis, el flujo metodológico evidencia cómo la investigación evoluciona de la identificación de brechas teóricas hacia la validación práctica del modelo EVM-GEI, asegurando trazabilidad, rigor y pertinencia científica en cada etapa, en consonancia con los lineamientos contemporáneos de la gerencia de proyectos sostenibles y la gestión ambiental estratégica.

La representación visual del flujo permite evidenciar la lógica progresiva de la investigación y la gestión de sus principales contingencias, garantizando coherencia interna y trazabilidad metodológica (Peffer, Tuunanen, & Niehaves, 2018).

---

**Figura 20** Diagrama de flujo metodológico

Nota: Elaboración propia. (2025).

### 3.1.5. Diseño Metodológico: Investigación Mixta de Diseño Científico

El presente estudio adopta un enfoque mixto de carácter secuencial explicativo, que combina la revisión conceptual con la validación empírica. El tipo de estudio es descriptivo-propositivo, enmarcado dentro del paradigma de la Investigación Científica de Diseño (Design Science Research, DSR), cuyo propósito central es la creación y evaluación de un artefacto - el modelo integrado de Gestión del Valor Ganado para Emisiones de GEI (EVM-GEI) - destinado a resolver la problemática de la falta de control ambiental integrado en la Gerencia de Proyectos de Tecnología en Colombia.

Metodológicamente, se estructura en cuatro fases secuenciales alineadas con los objetivos específicos: (i) fase cualitativa exploratoria mediante revisión sistemática de literatura y entrevistas semiestructuradas en grupos focales con expertos para analizar los fundamentos del Valor Ganado, las prácticas gerenciales actuales y los factores generadores de emisiones

---

en proyectos TI; (ii) fase de formulación propositiva del modelo EVM-GEI, sustentado en principios recientes de normas internacionales como ISO 14064 y en modelos comparables como el E<sup>2</sup>-EVM Valuation Model (Cruz Rambaud, López Pascual, & Meléndez Rodríguez, 2021); (iii) fase aplicada cuantitativa con diseño de métricas EVM para medir las emisiones reales versus la línea base, y (iv) fase de validación cualitativa de resultados mediante análisis con grupos focales y retroalimentación de expertos.

La población objetivo está conformada por gerentes de proyectos de TI en Colombia con al menos cinco años de experiencia en empresas tecnológicas medianas o grandes, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por juicio de expertos, para asegurar la pertinencia profesional y geográfica del caso de estudio. Este diseño metodológico asegura tanto la solidez teórica del artefacto como su viabilidad empírica en contexto local, aportando evidencia de alto nivel académico y pertinencia práctica.

La integración metodológica del Enfoque de Valor Ganado (EVM) con la medición de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se fundamenta en la necesidad de trascender el control tradicional del desempeño de los proyectos, incorporando dimensiones ambientales que respondan a los principios de sostenibilidad y gobernanza responsable. El EVM, concebido originalmente como un sistema de medición del desempeño basado en la relación entre costo, tiempo y alcance (Project Management Institute (PMI), 2021), ofrece una estructura adaptable para incorporar indicadores ambientales mediante la extensión de sus métricas fundamentales: Valor Planeado Ambiental ( $PV_a$ ), Valor Ganado Ambiental ( $EV_a$ ) y Costo Real Ambiental ( $AC_a$ ). Estas variables permiten vincular la eficiencia económica con la mitigación de impactos ambientales, aportando evidencia cuantificable al proceso de toma de decisiones sostenibles.

La literatura reciente demuestra que la integración de métricas ambientales en sistemas de control de desempeño basados en EVM promueve la gobernanza sostenible de proyectos tecnológicos, fortaleciendo su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (Acción por el clima)

---

(Ahmad, Zhang, & Zhang, 2023). Esta adaptación metodológica, sustentada en marcos internacionales como la norma ISO 14064-1 y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), constituye una innovación teórico-empírica que amplía los límites de la gestión del valor ganado hacia la sostenibilidad ambiental (Silvius, A. G. & Schipper, R., 2022). En consecuencia, el modelo EVM-GEI propuesto contribuye al avance del conocimiento en la gerencia de proyectos sostenibles, ofreciendo una herramienta robusta para el control integral del desempeño económico y ambiental en contextos tecnológicos emergentes.

### 3.1.6. Trazabilidad metodológica: objetivos, técnicas metodológicas y resultados

La tabla 16, consolida la trazabilidad metodológica del diseño investigativo, asegurando la coherencia entre los objetivos específicos, las técnicas seleccionadas, los instrumentos aplicados y los resultados esperados. Su estructura responde a las recomendaciones de Peffers sobre el rigor de la Design Science Research (DSR), (Peffers, Tuunanen, & Niehaves, 2018) y las guías de Creswell & Plano Clark para estudios mixtos de tipo secuencial explicativo (Creswell & Plano Clark, 2018). La trazabilidad metodológica también contribuye a garantizar la validez de constructo y de contenido, demostrando que cada decisión metodológica está alineada con la finalidad del estudio: diseñar y validar un modelo integrado de control ambiental en proyectos tecnológicos (EVM-GEI).

**Tabla 16** Trazabilidad metodológica con base en los objetivos

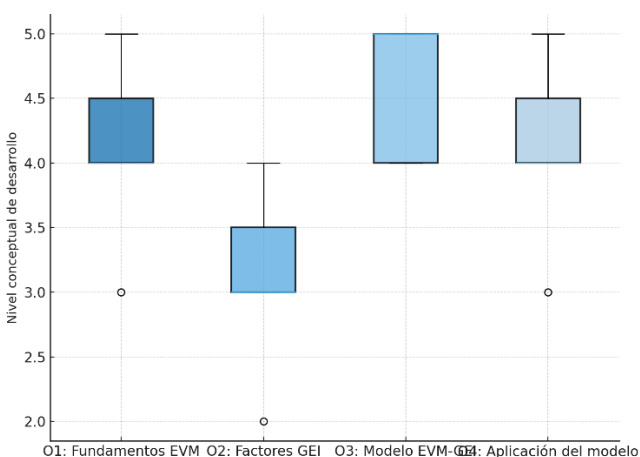
Objetivo Específico	Técnicas Metodológicas Aplicadas	Instrumentos / Fuentes de Datos	Análisis o Método de Validación	Resultados Esperados
1. Analizar los fundamentos teóricos y metodológicos de la Gestión del Valor Ganado (EVM) y las prácticas de planificación de los gerentes de proyectos.	Revisión Sistemática de Literatura (RSL) conforme a PRISMA 2020; Grupos focales y entrevistas semiestructuradas a expertos.	Bases Scopus y Web of Science; guion de entrevistas validadas por expertos.	Análisis cualitativo de contenido temático y triangulación teórica.	Identificación de brechas conceptuales entre EVM tradicional y sostenibilidad; diagnóstico de madurez en la gestión de proyectos tecnológicos.

2. Identificar los factores generadores de emisiones de GEI asociados a las actividades de los proyectos tecnológicos.	Análisis exploratorio de procesos y actividades (EDT adaptada); aplicación de estándares ISO 14064-2 y Protocolo GEI.	Revisión técnica de proyectos TI; datos de consumo energético, hardware, y software.	Análisis descriptivo y normativo; correlación entre actividades y factores de emisión.	Definición de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) y cálculo del Valor Planeado de GEI ( $PV_{(GEI)}$ ).
3. Formular un modelo integrado (EVM-GEI) que combine gestión de costos, control del desempeño y medición de emisiones.	Modelado conceptual y matemático (Design Science Research); desarrollo de indicadores clave ( $V_a$ , $I_a$ ).	Documentación técnica del modelo y simulación de escenarios.	Validación conceptual mediante juicio de expertos (método Delphi).	Diseño del modelo EVM-GEI con estructura formal, métricas integradas y ecuaciones de control ambiental.
4. Diseñar, validar y aplicar como caso de estudio el modelo EVM-GEI en un proyecto tecnológico real.	Estudio de caso aplicado; medición y control de GEI durante la ejecución del proyecto.	Aplicación práctica del modelo EVM-GEI; base de datos del proyecto piloto.	Análisis comparativo de varianzas ambientales y de costo (Varianza Ambiental – $V_a$ , Varianza de Costo – CV).	Validación empírica del modelo; evidencia de efectividad en el control integrado de desempeño económico y ambiental.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La figura 21 presenta de manera conceptual la variabilidad y equilibrio entre los cuatro objetivos específicos del modelo EVM-GEI, reflejando su coherencia interna y su contribución conjunta al desarrollo de una gestión integrada del valor ganado y las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Figura 21** *Conceptual objetivos específicos de estudio doctoral*



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3.1.7. Enfoque y tipo de Investigación

El estudio adopta un enfoque mixto de carácter secuencial explicativo, combinando fases cualitativas y cuantitativas que permiten tanto la construcción teórica como la validación empírica del modelo EVM-GEI. En una primera etapa, la investigación cualitativa desarrolla el diseño conceptual del artefacto metodológico, el modelo integrado de Gestión del Valor Ganado Ambiental, a partir de la revisión sistemática de literatura y la consulta a expertos. Posteriormente, las fases cuantitativas aplican métricas derivadas del Valor Ganado para evaluar la efectividad del modelo y contrastar las hipótesis mediante un caso de estudio real. Este enfoque secuencial facilita comprender y explicar la relación entre las variables del desempeño ambiental y económico, al tiempo que refuerza la validez interna del modelo (Creswell & Plano Clark, 2018).

El tipo de estudio es Descriptivo y Propositivo, tabla 17, enmarcado dentro del paradigma de la Investigación Científica de Diseño (Design Science Research, DSR), reconocida por su orientación hacia la creación y evaluación de artefactos que solucionan problemas prácticos (Gregor, S.; Hevner, A. R., 2013). En este caso, el artefacto corresponde al modelo EVM-GEI, diseñado para abordar la ausencia de control ambiental integrado en la gerencia de proyectos tecnológicos. La población objetivo está conformada por gerentes de proyectos de tecnologías de la información (TI) certificados y/o con experiencia comprobada en Colombia, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia y juicio de expertos, estrategia adecuada para estudios exploratorios en contextos específicos donde se requiere conocimiento especializado (Etikan, I. & Bala, K., 2017). Esta elección asegura la pertinencia de la muestra y la coherencia del caso de estudio con el objetivo general de diseñar un modelo aplicable al entorno profesional colombiano.

**Tabla 17** *Enfoque y tipo de Investigación*

Característica	Descripción	Justificación
<b>Enfoque</b>	Mixto (Explicativo secuencial): Inicia con una fase cualitativa (teórica/conceptual) para diseñar el modelo, seguida de fases	Permite la construcción de un modelo (artefacto) y su

	cuantitativas (aplicación de métricas EVM) y cualitativas (validación con expertos/análisis de resultados).	posterior validación empírica mediante un caso de estudio.
<b>Tipo de Estudio</b>	Investigación Descriptiva-Propositiva ( <i>Design Science Research - DSR</i> ): El fin último es diseñar un artefacto (el modelo EVM-GEI) que resuelva un problema práctico (la falta de control ambiental integrado en la gerencia de proyectos de TI).	El objetivo general es Diseñar un modelo; DSR es el método más apropiado para la creación de modelos y su evaluación.
<b>Población y Muestra</b>	Población: Gerentes de Proyectos certificados y/o con experiencia en proyectos de TI en Colombia. Muestra: Muestreo no probabilístico por conveniencia y juicio de expertos para las entrevistas y el caso de estudio.	Enfocado en el contexto geográfico y profesional definido en el objetivo general.

Nota: Elaboración propia. (2025)

### 3.1.8. Matriz de operacionalización de variables

La operacionalización de variables, tabla 18, se estructuró bajo un diseño mixto secuencial explicativo, que combina fases cualitativas (revisión conceptual y diseño del modelo) con etapas cuantitativas (aplicación de métricas EVM adaptadas) y cualitativas (validación por expertos y análisis de resultados). La variable dependiente, Desempeño Ambiental de Proyectos Tecnológicos, se mide mediante indicadores del Valor Ganado Ambiental (Varianza Ambiental  $V_a$  e Índice de Desempeño Ambiental  $I_a$ ). Las variables independientes abarcan Factores de Emisión de GEI, Control Integrado de Costos y Emisiones, y Madurez en Gestión de Proyectos Sostenibles. Estos indicadores se definieron sobre la base de literatura reciente centrada en la integración de sostenibilidad en sistemas de control de gestión (Quesado, Silva, & Pereira, 2024). Las definiciones e instrumentos fueron sometidos a validación mediante juicio de expertos, asegurando su consistencia con los objetivos específicos y las hipótesis del estudio ( $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$ ).

**Tabla 18** Matriz operacional de variables

Dimensión / Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Instrumento / Técnica de recolección	Tipo de dato	Escala de medición
Desempeño Ambiental (Variable dependiente)	Nivel de eficiencia ambiental del proyecto medido en términos de	Medición cuantitativa de las emisiones GEI reales (EVGEI) versus las planificadas	Emisiones totales (kg CO <sub>2</sub> e); Varianza Ambiental (VA); Índice de Desempeño	Fichas técnicas del proyecto; Instrumento de cálculo EVM-GEI; Encuesta estructurada a	Cuantitativo	Razón

	emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a la línea base. Basado en ISO 14064-2 y Protocolo GEI.	(PVGEI), calculando la Varianza Ambiental (VA) e Índice de Desempeño Ambiental (IA).	Ambiental (IA); Cumplimiento de la línea base GEI (%)	gerentes de proyecto		
Desempeño del Proyecto (Variable independiente 1)	Grado de cumplimiento de los objetivos de costo, tiempo y alcance según la metodología de Valor Ganado (EVM).	Cálculo de indicadores EVM tradicionales: PV (Planned Value), EV (Earned Value), AC (Actual Cost), SV (Schedule Variance), CV (Cost Variance), SPI (Schedule Performance Index), CPI (Cost Performance Index).	SV (Varianza de cronograma); CV (Varianza de costos); SPI, CPI	Registros del proyecto; Plantilla EVM; Entrevista estructurada del grupo focal	Cuantitativo	Razón
Integración Ambiental-Económica (Variable mediadora)	Grado de alineación entre las métricas económicas (costos) y las ambientales (GEI).	Cálculo de correlación entre la línea base de costo (PVCost) y la línea base de emisiones (PVGEI).	Coefficiente de correlación r (Pearson); Relación PVCost/PVGEI	Análisis estadístico de datos del modelo EVM-GEI	Cuantitativo	Razón
Prácticas de Planificación y Estimación (Variable independiente 2)	Conjunto de habilidades y metodologías aplicadas por gerentes de proyectos TI en la planificación y estimación de actividades.	Evaluación mediante grupos focales y encuestas sobre el uso de herramientas de planificación, gestión de riesgos y sostenibilidad.	Uso de metodologías PMBOK, PRINCE2, Agile; Consideración de criterios ambientales en la planificación	Entrevistas semiestructuradas del grupo focal a expertos; Encuesta Likert (1–5)	Cualitativo / Cuantitativo	Ordinal
Viabilidad y Aceptación del Modelo EVM-GEI (Variable dependiente 2)	Nivel de aceptación, aplicabilidad y percepción de utilidad del modelo por parte de gerentes de proyectos TI.	Validación por juicio de expertos (método Delphi) y análisis de resultados del caso de estudio.	Relevancia percibida; Facilidad de implementación; Impacto en la toma de decisiones; Nivel de adopción esperado	Método Delphi; Cuestionario validado (Likert 1–5)	Cualitativo / Cuantitativo	Ordinal
Contexto Organizacional (Variable de control)	Factores estructurales y culturales de la organización que influyen en la adopción del modelo.	Identificación de políticas ambientales, certificaciones ISO, cultura de sostenibilidad y madurez en gestión de proyectos.	Existencia de política ambiental; Certificación ISO 14001; Nivel de madurez PMI	Entrevista a líderes de proyectos; Revisión documental	Cualitativo	Nominal

Nota: Elaboración propia. (2025)

### **3.1.9. Estructura Metodológica por Fases y Objetivos Específicos**

La metodología se articula en cuatro fases principales, cada una vinculada directamente a cada objetivo específico.

#### **3.1.9.1. Fase I: Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad**

La Fase I, denominada Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad, constituye el cimiento conceptual y exploratorio de la presente investigación. Su propósito es analizar de manera sistemática los fundamentos teóricos y metodológicos de la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) y su potencial adaptación hacia modelos sostenibles de desempeño ambiental en proyectos tecnológicos, tabla 19. Esta etapa se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y adopta la metodología de Revisión Sistemática de Literatura (RSL) conforme a las directrices PRISMA (Page & Moher, 2021), utilizando las bases de datos Scopus y Web of Science para identificar, categorizar y mapear las brechas existentes entre el EVM tradicional y las extensiones orientadas a la sostenibilidad (Silvius, A. J. G. & Schipper, R., 2021). Asimismo, se analizarán los marcos normativos y de referencia vinculados al control y verificación de emisiones de GEI, principalmente las normas ISO 14064-1 y 14064-2, y los estándares del International Carbon Registry (ICR), con el fin de fundamentar los criterios técnicos del modelo propuesto (International Organization for Standardization (ISO), 2019). Complementariamente, se realizarán grupos focales con entrevistas semiestructuradas con gerentes de proyectos de tecnología en Colombia, con el propósito de evaluar sus competencias en planificación, estimación y control de desempeño, y determinar la viabilidad cultural y operativa de implementar un modelo EVM extendido con métricas ambientales (Martens, M. L. & Carvalho, M. M., 2017). Los resultados obtenidos de esta fase permitirán establecer los constructos teóricos y los requisitos funcionales para la formulación del modelo integrado EVM-GEI, garantizando su pertinencia empírica y alineación con los principios del Desarrollo Sostenible y la gestión responsable de proyectos de TI.

---

**Alineada al Objetivo Específico 1:** Analizar los fundamentos teóricos y metodológicos de la gestión del valor ganado, así como las habilidades y prácticas de los gerentes de proyectos en la planificación y estimación de proyectos, para evaluar su aplicabilidad en el control del desempeño asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Tabla 19** *Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad*

Etapa	Actividad	Técnica e Instrumentos
<b>1.1. Revisión Sistemática (RSL)</b>	Analizar la evolución de EVM, EVM Sostenible (EVA/EVS), Gerencia de Proyectos de TI y prácticas de planificación.	Técnica: RSL y mapeo de literatura. Instrumento: Matriz de análisis documental (para identificar fundamentos y prácticas de planificación/estimación de gerentes).
<b>1.2. Grupos focales con entrevistas sobre prácticas en gerencia de proyectos</b>	Evaluar la comprensión y uso de EVM, la planificación de la línea base y la capacidad de los gerentes para integrar métricas no financieras.	Técnica: Entrevistas en profundidad a Gerentes de Proyectos de TI en Colombia. Instrumento: Guion de entrevista semiestructurado.
<b>1.3. Conclusión de Aplicabilidad</b>	Determinar la viabilidad y los prerrequisitos (habilidades, datos) para aplicar EVM en el control de emisiones.	Técnica: Análisis cualitativo (codificación temática).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3.1.9.2. Fase II: Identificación de Factores Generadores de GEI

La Fase II, denominada Identificación de Factores Generadores de GEI se orienta al cumplimiento del objetivo específico de reconocer las fuentes y actividades que originan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los proyectos tecnológicos, tabla 20. Esta etapa es esencial para consolidar la integración metodológica entre la gestión de proyectos representada por la planificación y la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y la sostenibilidad ambiental, expresada en la cuantificación de emisiones. Bajo un enfoque exploratorio-descriptivo, se desarrollará un mapeo exhaustivo de las actividades de un proyecto de Tecnologías de la Información IT, mediante una EDT adaptada a procesos tecnológicos (por ejemplo, implementación de software). Posteriormente, se aplicarán protocolos internacionales de cuantificación de emisiones, como la ISO 14064-2:2019 (orientación para la cuantificación y reporte de reducciones de GEI) y el Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol,

2024), complementados con directrices de Green IT y cloud sustainability frameworks (Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y., 2023). El resultado esperado de esta fase es la definición robusta de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA), que establecerá el Valor Planeado de GEI ( $VP_{GEI}$ ) correspondiente a las emisiones esperadas en cada paquete de trabajo, constituyendo el punto de referencia para el control de desempeño ambiental en las fases subsiguientes.

Esta aproximación metodológica fortalece el rigor científico del modelo al vincular la contabilidad de carbono con la gestión del valor ganado, aportando una estructura empírica para medir la eficiencia ambiental en los proyectos tecnológicos.

**Alineada al Objetivo Específico 2:** Identificar los factores generadores de emisiones de gases de efecto invernadero asociados a las actividades estimadas de los proyectos tecnológicos gestionados por los gerentes de proyectos.

**Tabla 20** *Identificación de Factores Generadores de GEI*

Etapa	Actividad	Técnica e Instrumentos
<b>2.1. Mapeo de Actividades</b>	Desglosar las Actividades Estimadas de un proyecto de TI tipo (ej. implementación de software) para identificar los procesos que consumen energía, recursos o generan e-waste.	Técnica: Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) adaptada; Diagramas de proceso.
<b>2.2. Cuantificación y Fuentes</b>	Determinar los Factores Generadores de GEI (ej. consumo eléctrico de servers, refrigeración) y las fuentes para su cuantificación, alineados a ISO 14064-2 (emisiones directas/indirectas).	Técnica: Consulta de protocolos (Protocolo GEI, ICR) y literatura de Green IT. Instrumento: Matriz de identificación Fuente-Emisión.
<b>2.3. Definición de la Línea base</b>	Definir la metodología para establecer la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) de GEI por paquete de trabajo, que será el del modelo.	Técnica: Modelado matemático y normativo.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3.1.9.3. Fase III: Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI

La Fase III, denominada Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI representa el núcleo propositivo de esta investigación y está alineada con el objetivo específico de desarrollar un modelo que combine la gestión de costos, el control del desempeño y la medición de emisiones de gases de efecto invernadero integradas con las métricas convencionales del

Valor Ganado, tabla 21. Sobre la base de los insumos teóricos y las métricas de GEI obtenidas en fases previas, esta etapa se enfoca en el desarrollo del artefacto metodológico. En ella se diseñará una extensión del EVM tradicional que incorpore variables ambientales tales como  $AC_{GEI}$ ,  $PV_{GEI}$  y  $EV_{GEI}$ . Se formularán indicadores clave como la Varianza Ambiental ( $VA = EV_{GEI} - AC_{GEI}$ ) y el Índice de Desempeño Ambiental ( $IA = EV_{GEI}/PV_{GEI}$ ), además de establecer umbrales de control, límites aceptables y criterios de alerta temprana. Finalmente, se redactará formalmente la documentación del modelo (diagramas, fórmulas, supuestos, validaciones esperadas) para su evaluación por expertos y su aplicación al caso de estudio. Esta fase de modelado conceptual y matemático asegura que el artefacto esté preparado para las etapas de validación empírica y demostración.

**Alineada al Objetivo Específico 3:** Formular un modelo integrado que combine la gestión de costos, el control del desempeño y la medición de emisiones de gases de efecto invernadero, articulado con las métricas de la gestión del valor ganado para el seguimiento de las actividades estimadas en proyectos tecnológicos.

**Tabla 21** *Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI*

Etapa	Actividad	Técnica e Instrumentos
<b>3.1. Diseño de Variables</b>	Formular la extensión de EVM que combine: Costo; Tiempo; y Ambiente.	Técnica: Modelado conceptual y matemático.
<b>3.2. Formulación de Indicadores</b>	Crear y definir indicadores de desempeño ambiental derivados: Varianza Ambiental e Índice de Desempeño Ambiental, estableciendo umbrales de control y criterios para la solicitud de cambio.	Técnica: Análisis de regresión (si es necesario); Definición de fórmulas y umbrales de control.
<b>3.3. Documentación del Modelo</b>	Documentar el modelo, su flujo de trabajo, los <i>inputs</i> y <i>outputs</i> , y las directrices para la adaptación metodológico.	Técnica: Elaboración de manual y diagramas de flujo. Instrumento: Borrador del Modelo EVM-GEI.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### **3.1.9.4. Fase IV: Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio**

Fase IV denominada Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio constituye la etapa final y aplicada de la investigación, alineada con el objetivo específico de diseñar, validar

y aplicar el modelo EVM-GEI en un entorno real de proyecto tecnológico, tabla 22. Esta fase se desarrolla bajo un enfoque predominantemente cuantitativo y empírico, orientado a comprobar la fiabilidad, coherencia y aplicabilidad del modelo formulado en la Fase III.

En una primera etapa, se implementará una validación por juicio de expertos mediante el método Delphi, garantizando la consistencia interna del modelo, su pertinencia práctica y su alineación con los estándares internacionales, particularmente la ISO 14064-3 relativa a la verificación y validación de emisiones de GEI.

En la segunda etapa, se seleccionarán dos casos de estudio real en el contexto colombiano de proyectos tecnológicos para establecer la línea base de emisiones y aplicar el modelo EVM-GEI durante su ejecución. El análisis de los resultados se centrará en la medición de las varianzas ambientales (VA) y su comparación con las métricas tradicionales del Valor Ganado (EVM), evaluando la capacidad del modelo para gestionar desviaciones de GEI y optimizar el desempeño ambiental del proyecto. Esta fase permitirá demostrar empíricamente la efectividad, validez y aplicabilidad práctica del artefacto propuesto, consolidando su contribución científica a la gestión sostenible de proyectos tecnológicos.

**Alineada al Objetivo Específico 4:** Diseñar, validar y aplicar como caso de estudio un modelo basado en la gestión del valor ganado para controlar el desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a la línea base establecida en proyectos tecnológicos.

**Tabla 22** *Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio*

<b>Etapa</b>	<b>Actividad</b>	<b>Técnica e Instrumentos</b>
<b>4.1. Validación de Expertos</b>	Sometimiento del Modelo EVM-GEI a la evaluación de un panel de expertos para validar su coherencia, completitud y cumplimiento normativo (ISO 14064-3).	Técnica: Método Delphi o Panel de Expertos. Instrumento: Cuestionario de validación estructurado (Escala Likert y preguntas abiertas).
<b>4.2. Selección y Preparación del Caso</b>	Seleccionar un proyecto de TI en curso o reciente para la aplicación. Recopilar datos históricos/planificados y establecer la LBDA oficial del caso de estudio.	Técnica: Muestreo Intencional (Caso de Estudio Único/Múltiple). Instrumento: Ficha de criterios de selección; Plan de Monitoreo de GEI.

<b>4.3. Aplicación y Control Cuantitativo</b>	Aplicar el modelo EVM-GEI en el proyecto. Monitorear datos reales de emisiones en puntos clave de medición y calcular el desempeño ambiental.	Técnica: Monitoreo y control periódico. Instrumento: Base de datos de desempeño (EVM y EVM-GEI).
<b>4.4. Análisis de Resultados e Implicaciones</b>	Analizar las desviaciones y el impacto del control de en la toma de decisiones del proyecto. Concluir sobre la efectividad, viabilidad y contribución del modelo a la gerencia de proyectos tecnológicos sostenibles en Colombia.	Técnica: Análisis comparativo de varianzas; Análisis de Implicaciones (Discusión).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3.1.10. Desarrollo de las Fases Metodológicas

La metodología se desarrolló en cuatro fases principales, cada una vinculada directamente a cada objetivo específico.

#### 3.1.10.1. Fase I: Fundamentación Teórica y Evaluación de Aplicabilidad

La Fase 1, denominada Diseño Conceptual del Modelo EVM–GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration), constituye el punto de partida metodológico y teórico de la investigación doctoral. Su propósito es establecer los fundamentos conceptuales, constructos teóricos y variables operacionales que sustentan la integración del enfoque de Valor Ganado (EVM) con la medición de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en el contexto de la gestión de proyectos tecnológicos sostenibles.

##### 3.1.10.1.1. Etapa 1: Revisión Sistemática Literatura (RSL)

Esta fase se desarrolló bajo un enfoque cualitativo exploratorio, siguiendo los principios de la Design Science Research (DSR) (Peffer, Tuunanen, & Niehaves, 2018) y el esquema metodológico de revisión sistemática de literatura (RSL) propuesto por PRISMA 2020 (Page & Moher, 2021). La revisión se efectuó en las bases de datos Scopus y Web of Science, considerando publicaciones entre 2018 y 2025, limitadas a revistas Q1 y Q2 de los campos de Project Management, Sustainability, Environmental Engineering y Information Systems. Los descriptores de búsqueda empleados fueron:

(“earned value management” OR “project performance”) AND (“greenhouse gases” OR “carbon footprint” OR “climate change”) AND (“information technology” OR “digital transformation”) AND (“sustainable development goals”).

A partir de la literatura seleccionada, se realizó un análisis comparativo de modelos teóricos previos, identificando los principales enfoques sobre la incorporación de la sostenibilidad en la gestión del desempeño de proyectos (Silvius, A. J. G. & Schipper, R., 2021). Este análisis permitió reconocer que, si bien el EVM ha evolucionado como una herramienta robusta para medir la relación entre costo, tiempo y alcance, persiste una brecha en su capacidad para integrar variables ambientales y energéticas que reflejen el impacto de las actividades de proyecto sobre el entorno.

En consecuencia, la fase condujo a la identificación de las variables dependiente e independientes que estructuran el modelo EVM–GEI.

- **Variable dependiente:** Desempeño Ambiental del Proyecto Tecnológico.
- **Variables independientes:** Factores de Emisión de GEI, Control Integrado de Costos y Emisiones, y Nivel de Madurez en la Gestión de Proyectos Sostenibles.

Con base en estos hallazgos, se elaboró la matriz de operacionalización de variables, donde se establecieron los indicadores de medición derivados de la literatura y de los estándares internacionales ISO 14064-1:2018 e ISO 14064-2:2019, garantizando la coherencia técnica con los principios de cuantificación, reporte y verificación de emisiones.

El resultado final de esta fase fue la definición del constructo teórico del modelo EVM–GEI, que integra los pilares de la gestión del valor ganado con los enfoques contemporáneos de sostenibilidad ambiental y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 13). Este constructo se consolida como el marco de referencia para el posterior diseño empírico, validación y aplicación del modelo en proyectos tecnológicos colombianos, fortaleciendo su pertinencia científica y su alineación con las tendencias internacionales en gerencia de proyectos sostenibles (Quesado, Silva, & Pereira, 2024).

---

## Resumen de la Síntesis de la Literatura y Justificación del Modelo

La revisión sistemática de literatura se fundamentó en una matriz de síntesis diseñada para establecer el fundamento teórico-metodológico del Modelo Integrado de Valor Ganado para Gases de Efecto Invernadero (EVM-GEI). Dicha síntesis confirmó la existencia de una clara evolución paradigmática en la gerencia de proyectos, transitando de la tradicional Triple Restricción (costo, tiempo, alcance) hacia la inclusión imperativa de la dimensión de sostenibilidad. Se identificó que, si bien la Gestión del Valor Ganado (EVM) es un sistema de control riguroso, su alcance es limitado al no integrar formalmente los impactos ambientales, una carencia que ha impulsado el desarrollo de constructos como el Valor Ganado Sostenible (EVS). Esta brecha teórica es la que justifica la necesidad propositiva de esta investigación: diseñar un artefacto metodológico que logre la integración efectiva de las métricas de EVM con variables ambientales, en particular las emisiones de GEI, para proyectos tecnológicos.

El análisis de la matriz se detallan los componentes modulares requeridos para la formulación del modelo, incluyendo las definiciones conceptuales de la Varianza Ambiental ( $V_A$ ) y los factores de emisión específicos para proyectos de Tecnología de la Información (TI).

Metodológicamente, tabla 23, la literatura revisada proporciona el soporte para alinear la cuantificación y validación de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) con estándares internacionales, tales como las normas ISO 14064-2 y 14064-3. Esta alineación asegura que el modelo EVM-GEI no solo sea teóricamente sólido, sino que también cumpla con los requisitos de trazabilidad y verificabilidad exigidos por los marcos de gobernanza climática. Por lo tanto, la matriz sintetizada funciona como el marco referencial y el catalizador para el diseño del modelo, proveyendo los *inputs* necesarios para su formulación, validación, y su posterior aplicación empírica como caso de estudio.

---

Tabla 23 Matriz sintetizada para el marco referencial

Categoría / Tema	Título	Fundamento teórico de planificación y estimación	Prácticas de planificación / estimación	Relación con el Método del Valor Ganado (EVM)	Integración con la sostenibilidad
Gerencia de Proyectos y desempeño organizacional	Reportes e investigaciones sobre desempeño y fallas en proyectos TI	Destacan deficiencias en requisitos, planificación y comunicación como causas de fracaso	Propone fortalecer la definición de requisitos y control del cronograma	Implica mayor control sobre líneas base y variaciones	Introduce necesidad de medir impacto ambiental de fallas o retrabajos
Competencias del gerente de proyectos	IPMA ICB4, PMBOK 7, estudios sobre competencias del Project Manager	Define el rol del gerente como integrador de planificación, liderazgo y gestión de recursos	Propone prácticas híbridas de planificación adaptadas al contexto	EVM como métrica clave para desempeño de costo-tiempo	Incorpora competencias de sostenibilidad dentro del liderazgo ético
Evaluación del éxito del proyecto	Estudios sobre criterios de éxito en proyectos	Extiende la 'triple restricción' al logro de beneficios y satisfacción de stakeholders	Introduce KPIs ampliados (valor generado, satisfacción, calidad)	Vincula indicadores de desempeño con métricas EVM	Relaciona el éxito con impacto ambiental y social del proyecto
Gobernanza y alineación estratégica	Estudios sobre gobernanza de TI y proyectos	Considera la planificación como instrumento de gobernanza	Aplicación del control de avances mediante tableros de desempeño	EVM como parte de mecanismos de control corporativo	Alinea la estrategia de TI con sostenibilidad corporativa
Gestión de portafolio y complejidad	Investigación sobre portafolio y proyectos complejos	Fundamenta la planificación como proceso dinámico en entornos no lineales	Adopción de marcos ágiles y adaptativos	EVM ajustado a escenarios dinámicos	Considera equilibrio entre valor económico y sostenibilidad
Competencias conductuales y liderazgo sostenible	Estudios sobre valores personales, ética y sostenibilidad	Fundamenta la planificación en valores y responsabilidad social	Incorporación de decisiones éticas y sostenibles en la planificación	EVM incluye costos sociales y ambientales indirectos	Integra liderazgo ético y sostenibilidad con gobernanza de proyectos
Líneas base y planificación sostenible	PMBOK Guide, investigaciones sobre líneas base dinámicas	La línea base define alcance, tiempo y costo como referencia controlada	Planificación predictiva con gestión de incertidumbre	EVM como medida de varianza respecto a la línea base	Introduce la Triple Línea Base (Personas, Planeta, Prosperidad)
Sostenibilidad y triple línea base en TI	Estudios sobre sostenibilidad y TI verde	Redefine la planificación para incluir impactos sociales y ambientales	Planificación de proyectos considerando emisiones, e-waste, inclusión	Amplía el EVM con métricas de valor ambiental y social	Articula los ODS y métricas ESG dentro del control de proyectos
Cultura organizacional y adopción tecnológica	Estudios sobre cultura organizacional y adopción TI	La cultura influye en la calidad de la planificación y ejecución	Ajuste de prácticas de estimación a contextos culturales	Mejora de comunicación y control (alineación con EVM)	Cultura corporativa alineada con sostenibilidad
Vigilancia tecnológica y sostenibilidad	Informe sobre vigilancia tecnológica	Uso de información externa para ajustar planificación de proyectos	Monitoreo continuo y preventivo del desempeño	Permite control anticipado de desviaciones (EVM proactivo)	Promueve decisiones basadas en evidencia ambiental y social
Desafíos actuales en la gestión de	Guide to the Project Management Body of	Sustenta la planificación en la selección flexible del ciclo de vida (predictivo,	Definición situacional de la planificación, énfasis en valor entregado	Amplía el control EVM incorporando	Conecta el ciclo de vida con criterios de

## Modelo para controlar el desempeño de Gases Efecto Invernadero en proyectos de Tecnología

proyectos tecnológicos	Knowledge (7 <sup>a</sup> edition)	adaptativo e híbrido) según el contexto		dominios de desempeño y valor	sostenibilidad y desempeño
Desafíos actuales en la gestión de proyectos tecnológicos	Adaptive project management in VUCA environments	Analiza la planificación como sistema dinámico frente a incertidumbre	Planificación iterativa e incremental con retroalimentación constante	EVM como herramienta de medición flexible y contextual	Propone métricas de valor adaptativo con impacto ambiental indirecto
Desafíos actuales en la gestión de proyectos tecnológicos	Systematic review of hybrid project management models	Fundamenta la planificación híbrida como modelo de integración predictivo-ágil	Prácticas de estimación flexibles y control por fases	Adapta EVM a modelos híbridos de seguimiento incremental	Integra indicadores ESG en fases adaptativas
Desafíos actuales en la gestión de proyectos tecnológicos	Customising Hybrid Project Management Methodologies	Fundamenta la necesidad de adaptar metodologías híbridas según el contexto	Combina prácticas de estimación predictiva con iteraciones ágiles	Ajusta EVM a entregables parciales para visibilidad temprana del valor	Introduce gestión del valor sostenible dentro del control del proyecto
Desafíos actuales en la gestión de proyectos tecnológicos	Hybrid Scaling of Agile in IT and Infrastructure Projects	Explica la gobernanza de proyectos híbridos en sectores TI y construcción	Implementación escalada de planificación adaptativa	EVM usado como métrica integradora de componentes predictivos y ágiles	Introduce escalado sostenible y métricas verdes en componentes adaptativos
Desafíos actuales en la gestión de proyectos tecnológicos	Project management maturity and situational judgement	Plantea que la planificación depende del juicio situacional y madurez organizacional	Mejora continua en la planificación basada en contexto y aprendizaje	EVM vinculado a madurez organizacional y gestión del cambio	EVM extendido hacia valor sostenible (EVA/EVS)
Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos	ESG Integration in Project Governance	Sustenta la planificación sostenible en principios de gobernanza	Definición de criterios de sostenibilidad en la planificación	EVM complementado con métricas ESG	Alineación de planificación con estrategias ESG y ODS
Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos	ESG, Risk Management and Project Performance	Fundamento en gestión de riesgos sostenibles y valor compartido	Identificación de riesgos ambientales y sociales en la planificación	EVM con integración de indicadores de riesgo ambiental	Enlace directo con P5 Standard y evaluación GEI
Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos	Standardizing sustainability in project management	Fundamenta la necesidad de planificar con métricas sostenibles	Prácticas de planificación de objetivos sostenibles y registro de riesgos	EVM extendido con dimensiones ambientales	Alinea planificación con ciclo de vida sostenible y métricas GEI
Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos	P5 Standard and ISO Standards for Sustainable Energy Projects	Vincula la planificación a la medición del impacto energético	Planificación basada en identificación de fuentes de emisión y trazabilidad	EVM asociado al cálculo de valor sostenible y energético (EVS)	Integración total con GEI, ISO 14064 y P5™
Sostenibilidad ambiental en la gerencia de proyectos	Carbon footprint reporting in project-based industries	Fundamento en cuantificación y trazabilidad del desempeño ambiental	Medición del impacto ambiental y huella de carbono en planificación	EVM integrado con métricas de carbono y energía	Relación directa con políticas GEI, ICMS, ISO 50001

## Modelo para controlar el desempeño de Gases Efecto Invernadero en proyectos de Tecnología

Gestión sostenible de proyectos / Marco P5™	Green Project Management – Estándar P5™	Propone la alineación de proyectos con estrategias sostenibles; planificación basada en impactos ambientales, sociales y económicos.	Evaluación de impactos mediante matriz P5 y escalas Likert; planificación orientada a reducción de GEI y responsabilidad social.	No establece vínculo explícito con EVM, pero permite integrar métricas de desempeño sostenible al control del valor.	Integra sostenibilidad en todas las fases; aborda GEI como indicador clave; se alinea con ODS, EVA, EVS y P5 Standard; promueve medición y mitigación de impactos.
Estándares globales de gestión de proyectos / PMBOK® Guide	Project Management Body of Knowledge (PMBOK®) 6ª y 7ª edition	Fundamento en principios de valor, liderazgo, adaptabilidad y resiliencia; planificación entendida como práctica continua.	Propone gestión por dominios (Stakeholders, Desempeño, Incertidumbre, Planificación); métodos y artefactos adaptativos (Kanban, métricas, etc.).	El EVM se reconoce como herramienta clave dentro del dominio de 'Medición de Desempeño'; útil para control de costos y valor entregado.	Ofrece marco flexible para integrar sostenibilidad; fomenta responsabilidad ambiental y social, aunque no prescribe medición de GEI.
Competencias individuales / IPMA ICB®	Individual Competence Baseline (ICB® v4.0)	Fundamento en competencias individuales para la planificación estratégica y la alineación con objetivos organizacionales.	Promueve uso de KPIs, control del rendimiento y alineación estratégica; enfatiza cumplimiento regulatorio y sostenibilidad.	No establece vínculo directo con EVM, aunque promueve uso de KPIs y medición de desempeño, compatibles con su lógica.	Integra sostenibilidad como competencia contextual; fomenta evaluación de impacto ambiental y cumplimiento normativo; reconoce ausencia de métricas GEI estandarizadas.
Metodología institucional / PM²® (Comisión Europea)	PM²® – Metodología de Gestión de Proyectos de la Comisión Europea	Enfatiza planificación basada en fases, hitos y transiciones; gobernanza clara con roles definidos.	Usa herramientas como análisis PESTEL y planes de externalización; promueve gestión de riesgos y decisiones informadas.	El EVM puede integrarse como parte del monitoreo y control del desempeño, aunque no se menciona explícitamente.	Integra sostenibilidad mediante análisis PESTEL; aborda impactos ambientales, sociales y legales; no especifica métodos de medición GEI.
Normas internacionales / ISO 21502:2020	ISO 21502:2020 – Project, Programme and Portfolio Management – Guidance on Project Management	Fundamenta la planificación en evaluación multicriterio (cuantitativa, cualitativa y financiera); incorpora criterios estratégicos y de sostenibilidad.	Define fases de inicio, planificación, monitoreo y cierre; fomenta evaluación previa de sostenibilidad ambiental y social.	EVM es reconocido como herramienta de control dentro del marco ISO; aplicable a indicadores de desempeño financiero y de valor.	Promueve análisis de sostenibilidad en la gobernanza del proyecto; alinea con P5 Standard y GHG Protocol; no prescribe herramientas GEI específicas.
Éxito de proyectos y valor organizacional	Project execution and institutional strategic value	Amplía la definición de éxito más allá de costo, tiempo y alcance	Introduce la eficiencia del gasto y la transparencia como prácticas de planificación	Fundamenta la relación entre planificación y generación de valor institucional	Alineación con políticas de sostenibilidad organizacional

*Modelo para controlar el desempeño de Gases Efecto Invernadero en proyectos de Tecnología*

Criterios de éxito sostenible	Success criteria in sustainable projects	Incorpora impacto social y sostenibilidad en el éxito del proyecto	Propone incorporar indicadores no financieros en la estimación	Complementa EVM con métricas de valor social y ambiental	Enfatiza el triple balance (económico, social y ambiental)
Estimación de costos en ingeniería	Cost estimation models in engineering projects	Identifica la estimación como herramienta central de control	Evalúa riesgos y desviaciones presupuestarias	Complementa EVM como sistema de control financiero	Destaca la necesidad de incluir costos ambientales
Modelos adaptativos en gestión	Adaptive governance in project management	Define el modelo como sistema anticipatorio	Introduce gobernanza anticipatoria en la planificación	Extiende EVM a entornos adaptativos	Promueve resiliencia y capacidad adaptativa
EVM en control de proyectos	EVM as a control system for early deviation detection	Define métricas de desempeño para control preventivo	Aplica EVM en monitoreo de costo y plazo	Núcleo del estudio — aplicación directa de EVM	Base para extensiones sostenibles del método
Línea base de desempeño	PMBOK® Guide y Practice Standard for EVM	Define las líneas base de costo, cronograma y alcance	Estructura de planificación detallada	Define los indicadores SPI, CPI, SV, CV	Propone la evolución hacia métricas sostenibles (EVA, EVS)
EVM sostenible y ambiental	Sustainable Project Management & Earned Green Value Management	Amplía el valor ganado hacia dimensiones sociales y ambientales	Plantea integración de indicadores de impacto	Fundamenta EVA y EVS como extensiones del EVM	Define 'valor ganado sostenible' como medida integral
Integración EVM – GEI	Modeling Sustainable EVM under Grey Uncertain Conditions	Integra planificación ambiental en EVM	Define variaciones ambientales (VA)	Adapta EVM a métricas ambientales	Integra GEI y línea base ambiental (LBDA)
EVM con BIM y carbono	Integration of EVM and BIM for carbon monitoring	Aplica planificación con base en emisiones	Integra desempeño físico y ambiental	Mide EVA y EA como indicadores de GEI	Aplica control de carbono en proyectos
Validación metodológica	Greenhouse Gas Protocol and ISO 14064 Frameworks	Estandariza la cuantificación de emisiones	Exige validación y trazabilidad de datos de GEI	Apoya creación de línea base ambiental	Conecta EVM sostenible con ISO y GHG Protocol
EVM sostenible en TI	EVM applications in Latin America	Muestra brecha en integración EVM-sostenibilidad	Señala ausencia de métricas ambientales en TI	Refuerza necesidad de modelo EVS regional	Propone desarrollo metodológico latinoamericano
Gobernanza estratégica sostenible	Earned Value Management in Predictive and Agile Contexts	Integra planificación tradicional y ágil	Define EVM como marco integral de gobernanza	Adapta EVM a entornos híbridos y sostenibles	Potencia la alineación estratégica con ODS

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### **3.1.10.1.2. Etapa 2: Grupos focales sobre prácticas en gerencia de proyectos**

La primera fase metodológica incluye una evaluación exhaustiva de la comprensión y aplicabilidad de la Gestión del Valor Ganado (EVM) y de las habilidades de planificación de los gerentes de proyectos de tecnología en Colombia. Esta evaluación se centró en dos ejes: primero, determinar la madurez metodológica de la muestra mediante el análisis del uso de EVM, la definición de su Línea Base inicial y modificada y la importancia que se otorga al control de las varianzas de costo y cronograma. Segundo, se exploró la capacidad adaptativa del gerente para integrar métricas no financieras. Esto implica medir su apertura conceptual a incorporar el impacto ambiental generado por el proyecto (GEI) dentro de la estructura de costos, sirviendo como un indicador de la viabilidad cultural y profesional para la adopción del modelo EVM-GEI propuesto. Los resultados de esta evaluación, obtenidos mediante entrevistas y análisis de frecuencias del instrumento de recolección de información, que fueron cruciales para determinar los prerrequisitos y el nivel de tailoring necesario para la implementación práctica del modelo.

La población objetivo del estudio estuvo compuesta por gerentes de proyectos tecnológicos certificados y/o con experiencia comprobada en la dirección de proyectos de tecnologías de la información IT en Colombia, pertenecientes a sectores estratégicos como telecomunicaciones, servicios financieros, educación digital y consultoría tecnológica. Este segmento profesional fue seleccionado por su vinculación directa con procesos de planificación, ejecución y control de proyectos que generan impactos ambientales indirectos, particularmente asociados al consumo energético, la huella de carbono digital y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas del uso de infraestructura tecnológica (Lozano, R.; Barreiro-Gen, M.; Carpenter, A., 2023).

La muestra se definió mediante un muestreo no probabilístico por juicio de expertos, técnica recomendada en enfoques Design Science Research (DSR) para garantizar la validez contextual y la pertinencia empírica de los hallazgos cualitativos (Gregor, S.; Hevner, A. R.,

---

2013). Se conformaron tres grupos focales con 8 a 10 participantes cada uno ( $n = 25$ ), siguiendo los lineamientos metodológicos propuestos por Krueger y Casey (Krueger & Casey, 2015) y actualizados por Morgan (Morgan, 2022), quienes sugieren entre seis y diez participantes por sesión para optimizar la saturación teórica y la calidad de la interacción discursiva.

Los criterios de inclusión se establecieron para garantizar la experticia profesional y la diversidad de perspectivas: (1) experiencia mínima de cinco años en gestión o dirección de proyectos tecnológicos; (2) participación previa en proyectos con componentes de sostenibilidad o gestión ambiental; (3) certificaciones profesionales vigentes (PMI®, PRINCE2®, IPMA u otras equivalentes); y (4) vinculación laboral en organizaciones con presencia nacional, regional en Colombia o internacional.

Cada sesión del grupo focal tuvo una duración promedio de 90 minutos, desarrollándose en modalidad virtual para facilitar la inclusión de participantes en distintas regiones del país. Las sesiones no fueron grabadas al no tener consentimiento informado, sin embargo, fueron procesadas mediante el software R Studio, aplicando protocolos de aseguramiento de la calidad de datos y trazabilidad analítica (Nowell, Norris, White, & Moules, 2017).

La selección de esta población y muestra permitió captar percepciones y experiencias gerenciales reales sobre la viabilidad del modelo EVM-GEI en contextos organizacionales colombianos, fortaleciendo la validez ecológica y constructiva del estudio. Este diseño metodológico es coherente con las recomendaciones de Creswell y Plano Clark (Creswell & Plano Clark, 2018) y Venkatesh (Venkatesh, Brown, & Bala, 2019) para la implementación de diseños mixtos secuenciales explicativos, donde la fase cualitativa profundiza y valida los resultados cuantitativos desde una perspectiva interpretativa.

---

### 3.1.10.1.2.1. Resumen por sesión del grupo focal

Las tres sesiones del grupo focal (basado en muestreo por Juicio de Expertos), se condujeron bajo un riguroso criterio de inclusión (mínimo 5 años de experiencia, certificación vigente, y exposición a sostenibilidad), lo que garantizó la validez contextual de la información. La estructura de cada resumen se centra en el consenso y el disenso de los expertos sobre los tres ámbitos temáticos: EVM, Factores GEI y el Modelo EVM-GEI.

#### **Grupo Focal Sesión 1: Énfasis en el rigor Metodológico y la Adaptación (*Tailoring*)**

Esta sesión, compuesta por expertos con alto foco en la gobernanza y procesos PMO, centró el análisis en la integración metodológica del modelo.

- **EVM Tradicional:** Existe un consenso crítico de que, si bien el EVM es la técnica de control más robusta para costo/tiempo, su uso real es bajo y a menudo limitado a la presentación de informes. Los expertos enfatizaron que la falta de rigor en la Línea Base es el principal obstáculo para cualquier métrica integrada.
  - **Factores GEI:** La identificación se abordó desde la perspectiva de control, sugiriendo que la variable GEI debe tratarse como un riesgo de desempeño que, si se desvía, debe activar planes de mitigación. El disenso se generó en torno a la cuantificación, indicando que la tesis debe proveer factores de conversión estandarizados específicos para el contexto de TI en Colombia.
  - **Validación Conceptual:** Se validó que el modelo EVM-GEI debe ser un modelo adaptable. Su éxito dependerá de la capacidad de los gerentes para simplificar la recolección de datos de GEI y no duplicar las tareas de control existentes, minimizando la resistencia a la adopción metodológica.
-

## Grupo Focal Sesión 2: Énfasis en la Justificación Estratégica y la Viabilidad

### Financiera

Este grupo, compuesto mayoritariamente por directores de área y consultores estratégicos, evaluó el modelo EVM-GEI desde la perspectiva de la creación de valor estratégico y financiero.

- **EVM Tradicional:** El consenso fue que el EVM es el lenguaje de los stakeholders ejecutivos. Por lo tanto, el principal aporte del modelo debe ser traducir el desempeño ambiental a ese lenguaje financiero.
- **Factores GEI:** Se aceptó plenamente que el impacto ambiental debe ser un "mayor valor del proyecto". La discusión clave fue la justificación de la Hipótesis: los expertos debatieron que la correlación entre Costo y Ambiente no debe ser percibida sino forzada a existir por el modelo, al incluir la compensación ambiental como un costo de calidad o de riesgo.
- **Validación Conceptual:** Se validó el modelo al considerar que el Índice de Desempeño Ambiental (IA) actúa como un indicador de riesgo de reputación y cumplimiento normativo. El requisito esencial es que el modelo demuestre que controlar la varianza de GEI reduce el riesgo financiero total del proyecto, siendo una herramienta de toma de decisiones estratégicas.

## Grupo Focal Sesión 3: Énfasis en la Cuantificación Técnica y la Normalización de

### Datos

Este grupo compuesto: especialistas técnicos, líderes de proyectos con enfoque en calidad o ambiente, se centró en la precisión, medición y trazabilidad del modelo EVM-GEI.

- **EVM Tradicional:** El enfoque fue en la integridad de los datos. Se señaló que cualquier modelo integrado fallará si la calidad de la Línea Base (PV) es baja. Se enfatizó la necesidad de estandarizar la entrada de datos.
-

- **Factores GEI:** La discusión técnica se centró en la rigidez de los estándares. Se confirmó la necesidad de basar la cuantificación del y en la ISO 14064, pero se demandó una guía clara sobre la asignación de factores de emisión a nivel de paquete de trabajo (WBS), que actualmente es inconsistente en las organizaciones.
- **Validación Conceptual:** La validación se otorgó con la condición de que el modelo actúe como una herramienta de normalización. Los expertos confirmaron que la Varianza Ambiental (VA) es un indicador técnicamente válido y útil para la comparación de desempeño entre proyectos, siendo este el principal valor que el modelo aportaría al sector TI de Colombia.

### **3.1.10.1.2.2. Descripción del instrumento de medición**

El instrumento de medición diseñado para esta investigación se estructuró como un cuestionario mixto de tipo descriptivo-propositivo, orientado a recopilar información empírica sobre las prácticas de gestión de proyectos tecnológicos y su relación con la sostenibilidad ambiental en el marco del modelo EVM-GEI. El instrumento de recolección de información se utilizó como una herramienta de provocación analítica, siendo aplicado directamente a los expertos dentro de cada una de las tres sesiones de Grupos Focales. Esta metodología permitió obtener datos cuantitativos sobre la madurez metodológica, uso de EVM y la aceptación de la integración ambiental en un entorno controlado. Crucialmente, la aplicación simultánea facilitó el contraste y la triangulación inmediata de la información: las respuestas a escala Likert (cuantitativas) sirvieron como puntos de partida para el debate cualitativo, permitiendo a los expertos justificar, matizar y validar las razones detrás de sus puntuaciones y, finalmente, establecer los requisitos funcionales que sirvieron de base para el diseño final del modelo EVM-GEI.

El instrumento se construyó tomando como referencia los lineamientos metodológicos de Creswell y Plano Clark (Creswell & Plano Clark, 2018) para estudios mixtos explicativos, y las recomendaciones de Hair (Hair, 2019) sobre diseño y validación de instrumentos en

---

investigación aplicada. Asimismo, su estructura se fundamentó en estándares internacionales de gestión de proyectos y sostenibilidad, incluyendo el PMBOK® Guide 7th Edition (Project Management Institute (PMI), 2021), la norma ISO 14064-1:2018 sobre cuantificación y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero, y los criterios del Global Reporting Initiative (Global Reporting Initiative (GRI), 2022) para la medición de desempeño ambiental.

El instrumento estuvo compuesto por tres secciones principales indicando las preguntas que contienen las variables a nivel de instrumento (Q=Question) representativas analizadas en el constructor de la tesis doctoral (ver Anexo 1).

**Sección A** – Información general: Contiene 10 ítems orientados a caracterizar el perfil profesional de los gerentes de proyectos, su experiencia en gestión tecnológica y el grado de incorporación de prácticas de sostenibilidad ambiental. Se indagan aspectos como años de experiencia, tipo de proyectos gestionados, fuentes de restricción predominantes, y existencia de mecanismos de medición o compensación de huella de carbono. Esta sección permite establecer la línea base contextual de la muestra.

**Sección B** – Información sobre la gestión del proyecto: Conformada por 8 ítems centrados en los procesos de planificación, control y monitoreo, específicamente en el uso de la metodología de Valor Ganado (EVM). Se incluyen preguntas sobre responsables del seguimiento, uso del EVM, tipo de línea base empleada y relevancia percibida de las varianzas de costo y cronograma. Además, se evalúa la percepción de los gerentes sobre la inclusión del impacto ambiental como componente del costo del proyecto, aportando evidencia sobre la disposición organizacional hacia modelos integrados como el EVM-GEI.

**Sección C** – Herramientas tecnológicas: Incluye 6 ítems relacionados con el uso de software de gestión de proyectos (Microsoft Project, Jira, Asana u otros) y su capacidad para visualizar indicadores de sostenibilidad. Se explora la frecuencia de validación del valor ganado, la integración de métricas ambientales y la disposición de los gerentes para probar herramientas tecnológicas que integren desempeño en costo, tiempo y emisiones de GEI.

---

En su conjunto, el cuestionario comprendió 24 preguntas cerradas y 10 variables demográficas, con alternativas de respuesta estructuradas en escalas nominales y ordinales, principalmente mediante una escala de Likert de cuatro puntos, que facilitó la medición de percepciones, niveles de adopción y actitudes hacia la sostenibilidad en la gestión de proyectos. La Matriz de Respuestas, tabla 24, presenta la base empírica para el análisis descriptivo y relacional de las Fases I y II de la investigación, condensando las 34 variables recogidas de los gerentes de proyectos de TI en Colombia encuestados. Esta matriz de datos contiene, en cada fila, el registro completo de las respuestas del gerente de proyecto que participo en el grupo focal y en cada columna (Q1 a Q34), la variable correspondiente al perfil demográfico, la madurez metodológica (uso de EVM, Q13), las prácticas de planificación (Q7), y la aceptación de la integración ambiental (Q18). Dicha estructura de datos es fundamental para ejecutar las pruebas de hipótesis propuestas, incluyendo el cálculo de la Correlación de Spearman entre las variables ordinales (Importancia del Costo vs. Aceptación Ambiental) y las pruebas de Student para determinar si el factor metodológico (Uso de EVM) influye significativamente en la apertura hacia el Modelo EVM-GEI. La matriz garantiza la trazabilidad y la transparencia de la información utilizada en todos los cálculos estadísticos subsiguientes.

**Tabla 24** *Matriz de Respuestas de Encuesta*

<b>Q</b>	<b>Pregunta Completa</b>	<b>Propósito en la Tesis</b>	<b>Tipo de Variable</b>
<b>Q1</b>	¿Cuántos años ha trabajado en la gestión de proyectos?	Establecer la experiencia profesional general del encuestado (Madurez).	Razón (Continua)
<b>Q2</b>	¿Cuántos años ha trabajado en la gestión de proyectos de tecnología?	Establecer la experiencia específica en el sector TI (Rigor de la muestra).	Razón (Continua)
<b>Q3</b>	¿Cuál ha sido la escala de tiempo del proyecto de tecnología de mayor duración que ha gestionado?	Determinar la magnitud y el alcance de los proyectos gestionados.	Ordinal (Rango)
<b>Q4</b>	¿Cuál ha sido la principal fuente de restricciones en sus proyectos de tecnología?	Identificar el enfoque dominante de control (Costo, Tiempo, Alcance). Justifica el punto de partida del EVM.	Nominal
<b>Q5</b>	¿Te consideras más un gerente de proyectos técnico o funcional?	Definir el perfil de liderazgo (relevante para el tailoring y la toma de decisiones).	Nominal Dicotómica
<b>Q6</b>	¿Qué tipo de proyectos has gestionado durante los cinco últimos años?	Describir el contexto y la variedad del portafolio gestionado.	Nominal (Categorías Múltiples)

<b>Q7</b>	¿Para los proyectos gestionados se realiza planificación y medición del impacto ambiental?	Medir la madurez en sostenibilidad y si existe una planificación ambiental formal.	Nominal Dicotómica
<b>Q8</b>	Si la respuesta anterior fue positiva, indique qué tipo de medición de realiza.	Detallar los estándares o métricas ambientales utilizados actualmente.	Nominal
<b>Q9</b>	¿Se realiza compensación por consumo de huella de carbono en la organización donde se gestionan estos proyectos?	Evaluar la cultura de sostenibilidad corporativa más allá del proyecto (contexto organizacional).	Nominal Dicotómica
<b>Q10</b>	Si la respuesta anterior fue positiva, ¿qué tipo de compensación realiza?	Identificar las estrategias de mitigación corporativa (ej. compra de bonos).	Nominal
<b>Q11</b>	¿Quién planifica las actividades del proyecto de tecnología?	Determinar los roles clave en el proceso de planificación de la Línea Base.	Nominal
<b>Q12</b>	¿Quién controla y monitorea las actividades del proyecto de tecnología?	Determinar los roles clave en el proceso de control y monitoreo (relevante para el EVM).	Nominal
<b>Q13</b>	¿Cuándo realiza el monitoreo del proyecto utiliza la herramienta de valor ganado EVM?	Uso Metodológico. Mide la familiaridad y aplicación de la técnica EVM (Variable Dicotómica Clave para Prueba t).	Nominal Dicotómica
<b>Q14</b>	¿Cuándo se utiliza EVM, qué estima principalmente?	Identificar el enfoque del cálculo EVM (solo CV y SV, o se incluyen otras métricas).	Nominal (Categorías Múltiples)
<b>Q15</b>	Para medir el desempeño del valor ganado, ¿tienes en cuenta la línea base inicial o la modificada de acuerdo con el avance del proyecto?	Evaluar la rigidez metodológica del gerente respecto al control de la Línea Base (crucial para la LBDA de GEI).	Nominal Dicotómica
<b>Q16</b>	¿Para los proyectos gestionados qué tan importante es la varianza del cronograma en la planificación, ejecución y cierre?	Control Temporal. Métrica clave de EVM. Sirve como variable de comparación para el ambiente (Q19).	Ordinal (Likert)
<b>Q17</b>	¿Para los proyectos gestionados qué tan importante es la varianza del costo en la planificación, ejecución y cierre?	Control Financiero. Métrica clave de EVM. Sirve como variable de comparación y correlación (H2).	Ordinal (Likert)
<b>Q18</b>	¿Considera que el impacto ambiental generado por la ejecución de proyectos de tecnología debe ser incluido en el costo como mayor valor del proyecto en compensación al medio ambiente?	Aceptación Ambiental. Mide la apertura a integrar la métrica GEI en el marco de costo (Variable Clave para Correlación H2 y Validación H3).	Ordinal (Likert)
<b>Q19</b>	¿Qué herramientas maneja para la planificación y seguimiento de proyectos?	Identificar las herramientas tecnológicas actuales (Justificación para el diseño de la interfaz del nuevo modelo).	Nominal (Categorías Múltiples)
<b>Q20</b>	¿Con qué frecuencia se realiza la validación de valor ganado en la herramienta utilizada?	Evaluar la frecuencia de monitoreo (rigor del proceso de control EVM).	Ordinal (Rango)
<b>Q21</b>	¿La herramienta utilizada permite visualizar la información gráfica de manera interactiva?	Medir la utilidad percibida de las herramientas actuales (deficiencias a cubrir por el modelo EVM-GEI).	Nominal Dicotómica
<b>Q22</b>	¿La herramienta utilizada permite identificar la sostenibilidad medida en el impacto ambiental global generado por su proyecto de tecnología?	Brecha Tecnológica. Mide la carencia de métricas ambientales en las herramientas actuales (Justificación para el diseño del artefacto).	Nominal Dicotómica

<b>Q23</b>	¿Le gustaría medir y tomar acciones, a través de herramientas de TI, la sostenibilidad ambiental del proyecto de tecnología como aporte a la descarbonización del medio ambiente?	Validación de la Necesidad. Mide el interés proactivo en el tema central de la tesis.	Nominal Dicotómica
<b>Q24</b>	¿Estaría interesado en validar una herramienta diseñada para medir el rendimiento de los proyectos en las aristas: ¿Costo, Tiempo e Impacto ambiental?	Validación del Modelo (H3). Mide la aceptación y disposición a aplicar el artefacto diseñado.	Nominal Dicotómica
<b>Q25</b>	¿Qué le gustaría que se mejorara dentro del formulario?	Retroalimentación Cualitativa (Análisis Temático).	Texto Libre
<b>Q26-Q34</b>	(Nombre, Profesión, Educación en Proyectos, Ciudad, País, Cargo, Entidad, etc.)	Datos de Perfil/Demográficos (Rigor de la Muestra y Contexto).	Nominal / Razón

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El instrumento fue sometido a un proceso de validación por juicio de expertos, en el que participaron académicos y profesionales certificados en gestión de proyectos (PMI®, PRINCE2®, IPMA) y sostenibilidad corporativa, asegurando la validez de contenido y constructo. Posteriormente, se realizó un análisis de confiabilidad interna, obteniéndose un coeficiente Cronbach's  $\alpha$  superior a 0.80, lo que evidencia una adecuada consistencia interna (Hair, Hult, Ringle, & Sarstedt, 2022).

Finalmente, el instrumento se aplicó como parte de la fase cuantitativa explicativa del diseño mixto, con el propósito de medir la correlación entre los factores de emisión de GEI, la gestión del valor ganado y el desempeño ambiental de los proyectos tecnológicos. Los resultados obtenidos sirvieron como base empírica para la validación y refinamiento del modelo EVM-GEI, fortaleciendo su aplicabilidad en el contexto colombiano y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 13).

### **3.1.10.1.2.3. Constructos principales del estudio**

Este plan metodológico formaliza la relación entre las variables extraídas del instrumento de recolección de información (Input) y las técnicas estadísticas empleadas con el fin de validar las hipótesis y sustentar el diseño del modelo propuesto (Output). En primer lugar, se procede a la definición y codificación precisa de las variables clave que representan los

constructos centrales del estudio: el control tradicional, medido con técnicas del Earned Value Management (EVM), y el factor de sostenibilidad asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para ello, se organizan las variables del sondeo de la siguiente manera: el control financiero, operacionalizado mediante la varianza del costo; el control temporal, mediante la varianza del cronograma; ambas tratadas como variables ordinales con escala Likert de cinco puntos; la aceptación ambiental, medida con la inclusión del impacto ambiental en el costo, igualmente en escala Likert; el uso metodológico, expresado por la utilización del EVM, como variable nominal dicotómica (0 = no lo utiliza; 1 = sí lo utiliza); y la madurez profesional, cuantificada por los años de experiencia, como variable continua de razón.

Esta configuración del diseño de variables posibilita un esquema analítico sistemático para aplicar técnicas estadísticas multivariadas que refuercen la validez interna del modelo y la capacidad explicativa en torno a los constructos de control y sostenibilidad.

### **1. Definición y Codificación de Variables Clave**

Se seleccionaron las variables que representan los constructos principales del estudio: el control tradicional (EVM) y el factor de sostenibilidad (GEI). La estrategia de análisis de datos comenzó con la definición y codificación de Variables Clave, esenciales para vincular los constructos teóricos del estudio con los datos empíricos del cuestionario. Se seleccionaron cinco variables primarias que representan el control tradicional y el factor de sostenibilidad. Las variables de Control Financiero (Varianza del Costo, Q18), Control Temporal (Varianza del Cronograma, Q17) y Aceptación Ambiental (Inclusión de Impacto Ambiental en Costo, Q19) fueron clasificadas como Ordinales y codificadas mediante la Escala Likert (1 a 5), lo cual permite el uso de técnicas de correlación no paramétrica como la de Spearman. Para el análisis inferencial, se establecieron el Uso Metodológico (Utilización de EVM, Q15) como una variable Nominal Dicotómica (0 o 1) y la Madurez Profesional (Años de Experiencia, Q3) como una variable de Razón (Continua). Esta codificación estructurada es crucial, ya que facilita la

---

ejecución de las pruebas estadísticas y la correcta interpretación de los resultados en el marco de las hipótesis del modelo EVM-GEI, tabla 25.

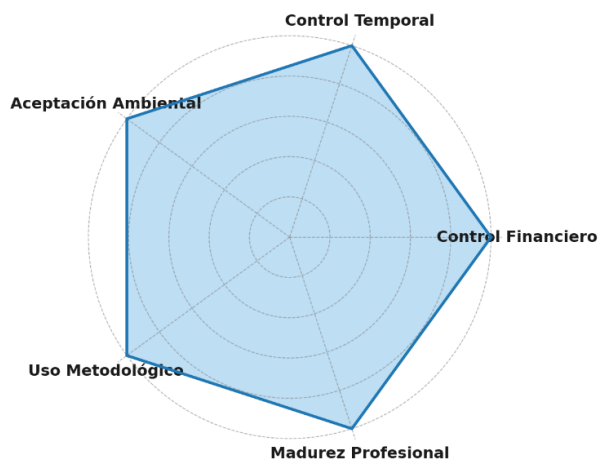
**Tabla 25 Constructos y valores clave**

Constructo	Variable de la Encuesta	Tipo de Variable	Codificación (Escala)
Control Financiero	Varianza del Costo (Q18)	Ordinal	Escala Likert (Ej. 1 = Nada Importante, 5 = Muy Importante)
Control Temporal	Varianza del Cronograma (Q17)	Ordinal	Escala Likert (Ej. 1 = Nada Importante, 5 = Muy Importante)
Aceptación Ambiental	Inclusión de Impacto Ambiental en Costo (Q19)	Ordinal	Escala Likert (Ej. 1 = Totalmente en Desacuerdo, 5 = Totalmente de Acuerdo)
Uso Metodológico	Utilización de EVM (Q15)	Nominal Dicotómica	0 = No Utiliza EVM, 1 = Sí Utiliza EVM
Madurez Profesional	Años de Experiencia (Q3)	Razón (Continua)	Años

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La figura 22 muestra de forma conceptual la estructura integral del modelo EVM-GEI, destacando la interrelación entre los cinco constructos clave: control financiero, control temporal, aceptación ambiental, uso metodológico y madurez profesional, los cuales en conjunto sustentan el enfoque de gestión integrada propuesto.

**Figura 22 Representación conceptual de los constructos del modelo EVM-GEI**



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 2. Análisis Relacional (Correlaciones)

El análisis de las hipótesis de correlación se centra en establecer la base empírica para justificar la necesidad del Modelo EVM-GEI. La Hipótesis (H<sub>2</sub>) postula una relación directa entre el control tradicional y la nueva métrica, probando si la importancia percibida de la Varianza del Costo (Q18) se asocia significativamente con la Aceptación Ambiental (Q19), lo cual será verificado mediante el cálculo del coeficiente de Correlación de Spearman ( $\rho$ ). Se espera un coeficiente positivo y fuerte ( $\rho > 0.5$ ) para demostrar que la madurez en el control financiero predispone a los gerentes a aceptar la integración ambiental, validando así la estructura del modelo. Adicionalmente, la Hipótesis Implícita (H<sub>1</sub>) busca evaluar la matriz de correlación cruzada entre las tres variables de escala Likert (Q17, Q18 y Q19) para determinar cuál de las métricas de EVM (Costo o Cronograma) posee una asociación más fuerte con la Aceptación Ambiental, lo que orientará el énfasis del tailoring metodológico en las fases posteriores del diseño, tabla 26.

**Tabla 26** Análisis correlacional

Hipótesis/Relación a Probar	Variabes Por Correlacionar	Técnica Estadística	Interpretación del Coeficiente
<b>H2:</b> Correlación entre el Costo y el Ambiente (Justificación de la Integración).	Varianza del Costo (Q18) vs. Aceptación Ambiental (Q19).	Correlación de Spearman ( $\rho$ ).	Se espera un coeficiente positivo ( $\rho > 0.5$ ) para demostrar que la importancia de la gestión de costos está directamente asociada a la aceptación de la métrica ambiental, justificando la integración en el modelo.
<b>H1</b> (Implicación): Influencia de las Métricas de EVM en la Sostenibilidad.	Matriz de correlación cruzada entre: Q17, Q18 y Q19.	Correlación de Spearman ( $\rho$ ).	Evaluar si alguna de las métricas de control tradicionales (Costo o Tiempo) tiene una asociación significativamente más fuerte con la Aceptación Ambiental que la otra.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 3. Pruebas de Diferencia y Asociación

Se utilizan técnicas inferenciales para verificar si existen diferencias significativas en la Aceptación Ambiental basadas en el Uso de EVM o la Experiencia de los gerentes. Para validar

la solidez de la base del modelo propuesto, se aplicarán pruebas de diferencia de medias para la Validación de la Madurez Metodológica (H<sub>3</sub>). Específicamente, se utilizará la Prueba de Student para determinar si la variable Nominal Dicotómica Uso de EVM (Q15) predice una diferencia significativa en la media de Aceptación Ambiental (Q19). Un resultado significativo validaría al EVM como un marco metodológico maduro y propicio para la integración de la sostenibilidad. Complementariamente, la Influencia de la Experiencia será evaluada mediante un modelo de Regresión Lineal Simple, con el objetivo de determinar si la Madurez Profesional (Años de Experiencia, Q3) tiene un coeficiente de regresión significativo ( $p < 0.5$ ) sobre la Aceptación Ambiental. Esta etapa analítica inferencial es crucial, ya que establece la validez interna del modelo al confirmar que la apertura a la sostenibilidad está intrínsecamente ligada al rigor metodológico y a la experiencia del gerente, tabla 27.

**Tabla 27 Pruebas de diferencia y asociación**

Objetivo del Análisis	Variabes (Input/Output)	Técnica Estadística	Finalidad Académica
Validación de Madurez Metodológica (H <sub>3</sub> ): ¿El uso de EVM predice una mayor aceptación ambiental?	Independiente: Uso de EVM (Q15, Nominal). Dependiente: Aceptación Ambiental (Q19, Ordinal).	Prueba t de Student (o Mann-Whitney U para datos no normales) sobre las medias de Q19.	Determinar si el grupo que usa EVM tiene una media de Aceptación Ambiental significativamente más alta que el grupo que no lo usa, validando el EVM como una base metodológica madura.
Influencia de la Experiencia: ¿La experiencia influye en la aceptación del modelo?	Independiente: Años de Experiencia (Q3, Razón). Dependiente: Aceptación Ambiental (Q19, Ordinal).	Regresión Lineal Simple (o Regresión Ordinal).	Determinar si hay un coeficiente de regresión significativo ( $p < 0.05$ ) que indique que la madurez profesional de los gerentes impacta su apertura a la sostenibilidad.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### 4. Modelo Analítico de la Fase Final (Post-Diseño)

Una vez se aplica el modelo EVM-GEI en el caso de estudio (Fase IV), el análisis pasa de la encuesta a la prueba de hipótesis inferencial de la eficacia del modelo. La validación empírica del artefacto propuesto se centró en la prueba de la Hipótesis (H1), que postula que el Modelo EVM-GEI es efectivo para el control proactivo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Esta fase se ejecutó mediante la aplicación del modelo en un caso de

estudio real, donde se contrastarán las tres métricas clave: el GEI Planeado ( $VP_{GEI}$ ), el GEI Real ( $AC_{GEI}$ ) y el GEI Ganado ( $EV_{GEI}$ ). La técnica central será el Cálculo y Análisis de la Varianza Ambiental (VA), complementado por una prueba de una muestra aplicada al Índice de Desempeño Ambiental (IA). La funcionalidad y la eficacia del modelo se demostrarán si el índice es significativamente mayor a 1.0 (o si la varianza es positiva), lo cual proveerá la evidencia empírica de que el control proactivo fue efectivo, validando al artefacto diseñado como una solución funcional y valiosa para la gerencia de proyectos de tecnología, tabla 28.

**Tabla 28** Modelo analítico de la fase final

Hipótesis Por Probar	Variables de Medición	Técnica Estadística	Justificación del Modelo
<b>H1</b> (Eficacia): El modelo EVM-GEI es efectivo para controlar las emisiones de GEI.	GEI Planeado ( $VP_{GEI}$ ) vs. GEI Real ( $AC_{GEI}$ ) vs. GEI Ganado ( $EV_{GEI}$ ).	Cálculo y Análisis de Varianza Ambiental (VA) y Prueba t de una muestra sobre el índice de desempeño ambiental (IA).	Si el IA es significativamente mayor a 1.0 (o la VA es positiva), se demuestra que el control proactivo fue efectivo y el artefacto diseñado es funcional.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### 3.1.10.1.2.4. Articulación del Modelo Integrado EVM-GEI y las Hipótesis

La investigación se centra en validar un modelo que aborda el vacío metodológico entre la contabilidad ambiental (estandarizada por la ISO 14064-1) y la gestión tradicional de proyectos (Desempeño del Proyecto: Alcance, Cronograma, Costos).

##### 1. Articulación de los Componentes del Modelo

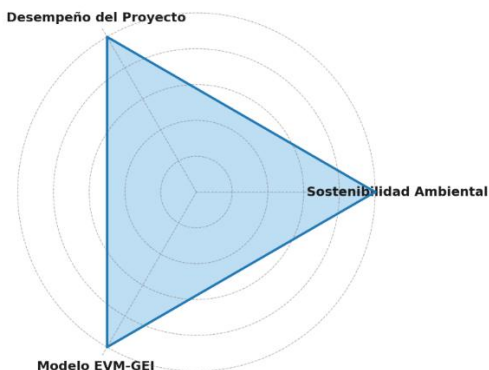
El Modelo EVM-GEI se fundamenta en la integración disciplinaria de la gestión de proyectos y la contabilidad ambiental, tabla 29. El objetivo es mover la gestión de la sostenibilidad de un anexo al Desempeño del Proyecto, utilizando la robustez del marco del Valor Ganado (EVM) y la estandarización de la ISO 14064.

**Tabla 29 Componentes y Constructos Centrales del Modelo EVM-GEI**

Constructo Principal	Variables Clave	Definición Metodológica	Rol en el Modelo
<b>Sostenibilidad Ambiental</b>	Impacto Ambiental, Mitigación al Cambio Climático, Huella de Carbono.	Variables del Coste Ambiental (GEI) medidas en tCO <sub>2</sub> e, conforme a los requisitos de la ISO 14064-1.	Variable Independiente. Es el objeto de medición y control.
<b>Desempeño del Proyecto</b>	Alcance, Cronograma, Costos, Integración.	Marco de Gestión del Valor Ganado (EVM). Proporciona la estructura para calcular las métricas de desempeño.	Marco de Control Operacional. Es el vehículo para integrar la sostenibilidad.
<b>Modelo EVM-GEI</b>	GEI Ganado (GG/EV-GEI), GEI Real (GR/ACWP-GEI), GEI Planificado (GP/BCWS-GEI).	La variable de Desempeño (EV) se aplica tanto al Costo Monetario como al Costo Ambiental (GEI), permitiendo calcular Varianza de Emisiones (VE) e Índice de Emisiones (IDE).	Resultado de la Integración. Herramienta de control predictivo.

Nota: Elaboración propia. (2025)

**Relación Central:** La integración permite que el Coste Ambiental (Huella de Carbono) sea gestionado con la misma rigurosidad y capacidad de predicción que el Costo Financiero (PV/AC), elevando el factor ambiental a una cuarta restricción crítica en la gerencia de proyectos. La figura 23 sintetiza los tres pilares conceptuales del modelo EVM-GEI: la sostenibilidad ambiental, el desempeño del proyecto y la integración metodológica, mostrando su equilibrio y relación dentro del marco de la gestión sostenible de proyectos tecnológicos

**Figura 23 Constructos principales del modelo EVM-GEI**

Nota: Elaboración propia. (2025)

## 2. Análisis Detallado de las Hipótesis

Las tres hipótesis de su investigación abordan la validación del modelo desde tres ángulos distintos, tabla 30, asegurando una validación integral: Eficacia Comparada (H<sub>1</sub>), Justificación Teórico-Empírica (H<sub>2</sub>) y Viabilidad Práctica (H<sub>3</sub>).

**Tabla 30 Análisis Detallado de las Hipótesis del Modelo EVM-GEI**

Hipótesis (H)	Foco de Validación	Relación Metodológica	Implicación de la Prueba
<b>H1:</b> La aplicación del Modelo Integrado EVM-GEI resultará en un control del desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) significativamente más efectivo	Eficacia del Control. (Demostrar el valor agregado del modelo).	Diseño Cuasiexperimental o Comparativo: Se compara el indicador clave de desempeño (VA =GEI Ganado-GEI Real) entre proyectos gestionados con EVM-GEI y aquellos con control ambiental tradicional.	Si se demuestra una reducción de la VA (o un VA más positivo) bajo EVM-GEI, se valida que la integración metodológica es superior para la gestión y mitigación activa.
<b>H2:</b> Existe una correlación positiva y significativa entre los factores de la Línea Base de Emisiones de GEI (LBDA) y los factores de la Línea Base de Costo (PV) en las actividades de los proyectos.	Justificación de la Integración. (Demostrar la interdependencia de las variables).	Análisis Estadístico de Correlación: Se aplica el análisis de correlación (Pearson) sobre datos de series de tiempo de proyectos tecnológicos para medir la co-varianza entre el costo monetario y el costo ambiental.	La existencia de una correlación fuerte y positiva valida la premisa de la investigación: que el coste monetario es un proxy eficaz para el coste ambiental, justificando la creación de una Línea Base de Desempeño Integrada y su gestión unificada.
<b>H3:</b> El Modelo Integrado EVM-GEI será validado por gerentes y expertos en proyectos de tecnología en Colombia como una herramienta viable, relevante y adaptable.	- Viabilidad y Aplicabilidad Práctica. -Validar la utilidad del modelo en el contexto real.	Métodos Cualitativos / Mixtos: Encuestas estructuradas (escalas Likert) o entrevistas semiestructuradas a Gerentes y Expertos en proyectos tecnológicos en Colombia (validación de expertos/Delphi).	Si el modelo obtiene una alta calificación en los constructos de Viabilidad, Relevancia y Adaptabilidad, se confirma que la herramienta no es solo teóricamente correcta, sino que es útil y aceptada por el contexto profesional en el que se implementará.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3.1.10.1.3. Etapa 3: Conclusión de Aplicabilidad

La Conclusión de Aplicabilidad constituye la fase culminante del proceso de validación del modelo, orientada a determinar su pertinencia empírica y viabilidad práctica dentro de contextos reales de gestión de proyectos tecnológicos. En esta etapa se integran los hallazgos obtenidos mediante la evaluación de expertos, a través de técnicas cualitativas como los grupos focales, junto con los resultados de las pruebas inferenciales cuantitativas, con el

propósito de establecer el dominio de validez y aplicabilidad del artefacto propuesto (EVM-GEI). Este enfoque se fundamenta en los principios del Design Science Research (DSR), que promueven la validación empírica y el refinamiento iterativo de los artefactos para garantizar su relevancia práctica y rigor científico (Gregor, S.; Hevner, A. R., 2013).

La aplicabilidad del modelo se considera confirmada cuando los análisis empíricos evidencian una asociación significativa entre la madurez metodológica de los gerentes de proyecto, representada por el uso del EVM y su nivel de aceptación hacia la integración ambiental, o cuando los resultados de la prueba piloto validan la funcionalidad de los indicadores derivados, tales como la Varianza Ambiental (VA) y el Índice de Desempeño Ambiental (IA), como medidas de seguimiento sostenible (Sroufe, R. & Viskovic, L., 2022).

De este modo, la conclusión de aplicabilidad no solo ratifica la validez interna y externa del diseño del modelo EVM-GEI, sino que también proporciona directrices claras para su adaptación contextual (tailoring) y transferencia tecnológica hacia la práctica profesional, en consonancia con los principios establecidos en la Guía del PMBOK® (Project Management Institute (PMI), 2021) y las prácticas contemporáneas de madurez metodológica híbrida en la gestión de proyectos sostenibles (García, J. R. & Pardo, C., 2024). Esta integración contribuye a fortalecer la articulación entre el control de desempeño basado en valor ganado y la sostenibilidad ambiental, asegurando que la dirección de proyectos tecnológicos mantenga su relevancia y eficacia en entornos organizacionales dinámicos y orientados al valor (Too, E. G. & Weaver, P., 2014).

### **3.1.10.1.3.1. Análisis estadístico del instrumento de medición**

El análisis se divide en tres secciones: Perfil de experticia, madurez metodológica (EVM) y viabilidad del modelo integrado.

**1. Análisis Descriptivo del Perfil y Restricciones:** Este análisis establece el rigor de la muestra y justifica el enfoque en el EVM tradicional.

---

**1.1. Madurez Profesional (Q1):** La variable Q1 (Años de experiencia en gestión de proyectos) muestra que la mayoría de los encuestados se concentra en rangos altos.

- **Moda:** 5 a 10 años.
- **Interpretación:** La muestra posee un alto nivel de experticia profesional, lo que confiere validez contextual y rigor a sus opiniones sobre el control metodológico y la sostenibilidad.

**1.2. Restricciones Dominantes (Q4):** La identificación de la principal fuente de restricciones valida el enfoque en Costo y Tiempo.

- **Frecuencia:** Las respuestas Tiempo y Costo son las más frecuentes, seguidas de Alcance.
- **Interpretación:** El resultado confirma que los proyectos de TI siguen estando fuertemente anclados al triángulo de hierro tradicional. Esto justifica que el modelo EVM-GEI deba anclarse a las métricas de Costo y Tiempo para tener relevancia, ya que son las prioridades gerenciales.

## 2. Análisis Descriptivo: Madurez Metodológica (EVM)

**2.1. Uso de EVM (Q13):** La variable Q13 (¿Utiliza la herramienta de valor ganado EVM?) mide la adopción metodológica.

- **Frecuencia:** Aproximadamente 36% (11 de 30) respondieron Sí, y 64% (19 de 30) respondieron No.
- **Implicación Estadística:** Esta distribución dicotómica justifica el uso de la Prueba de Student en la Fase II, para evaluar si el grupo minoritario que Sí usa EVM tiene una Aceptación Ambiental (Q18) significativamente diferente del grupo que no lo usa. Esto validaría el EVM como una base metodológica madura.

**2.2. Importancia de las Métricas EVM (Q16 y Q17):** Las variables Q16 (Varianza Cronograma) y Q17 (Varianza Costo) utilizan una Escala Likert.

---

- **Tendencia Central:** La mayoría de las respuestas se concentran en "Muy Importante" (5) o "Importante" (4).
- **Conclusión:** Se establece una alta Media Ponderada para ambas variables ( $x > 4.0$ ) confirmando que el control de varianzas es prioritario, lo cual sirve como punto de referencia para la nueva métrica de GEI.

### 3. Análisis Relacional y Propositivo (Viabilidad del Modelo)

**3.1. Aceptación Ambiental (Q18):** La variable Q18 (Aceptación de incluir el Impacto Ambiental en el Costo) es clave.

- **Tendencia Central:** Las respuestas tienden hacia "De Acuerdo" (4) y "Totalmente de Acuerdo" (5), con pocas respuestas en desacuerdo.
- **Conclusión:** La Media Ponderada es alta. Esto demuestra una alta viabilidad cultural y apertura conceptual a la tesis del EVM-GEI.

### 3.2. Prueba de Hipótesis: Correlación (Q17 vs. Q18)

- **Objetivo:** Determinar si la alta importancia del Costo (Q17) se asocia fuertemente a la alta Aceptación Ambiental (Q18).
- **Cálculo:** Correlación de Spearman ( $\rho$ )  $\approx 0.208$ .
- **Resultado y Discusión:** El coeficiente es positivo pero débil. Este hallazgo es fundamental para la tesis:
- **Implicación:** La aceptación del ambiente es alta, pero independiente de la disciplina de costo. Esto rechaza la justificación de que la relación sea percibida, y en su lugar, argumenta que el Modelo EVM-GEI debe ser el artefacto que cree esta correlación al forzar la vinculación entre el Costo Ganado y el GEI Ganado.

**3.3. Validación del Diseño (Q24):** La variable Q24 (¿Estaría interesado en validar una herramienta Costo, Tiempo e Impacto ambiental?) mide la aceptación final del artefacto.

- **Frecuencia:** Prácticamente la totalidad de los encuestados respondieron "Sí".
-

- **Conclusión:** Esto valida la necesidad y la relevancia del artefacto diseñado. La alta disposición a validar el modelo EVM-GEI soporta la Hipótesis H<sub>3</sub> y la conclusión de aplicabilidad de la tesis.

### 3.1.10.1.3.2. Análisis de Correlación del instrumento de medición

El análisis de correlación se llevó a cabo mediante el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ), una medida no paramétrica que evalúa la fuerza y dirección de la relación monótona entre variables ordinales o no linealmente relacionadas (Hauke, J. & Kossowski, T., 2011). Dado que las variables del instrumento de recolección están medidas mediante escalas tipo Likert y los análisis preliminares muestran que no siempre se cumplen los supuestos de normalidad necesarios para el uso fiable del coeficiente de Pearson, resulta más apropiado emplear técnicas no paramétricas u ordinales para el análisis de correlación y asociación. En particular, el uso de coeficientes basados en el orden de las observaciones, estimadores para variables ordinales y modelos específicamente diseñados para datos ordinales. Estas alternativas preservan la estructura ordinal de las respuestas, reducen el riesgo de sesgo por incumplimiento de normalidad y proporcionan estimaciones más robustas y fácilmente interpretables para inferencias en muestras de tamaño moderado, tabla 31. Además, cuando el objetivo es modelar relaciones multivariadas o construir escalas, conviene emplear técnicas de estimación apropiadas para datos categóricos/ordinales para asegurar la validez, la trazabilidad y la interpretabilidad de los resultados (Norman, G., 2010).

**Tabla 31** Análisis de correlación del instrumento de medición

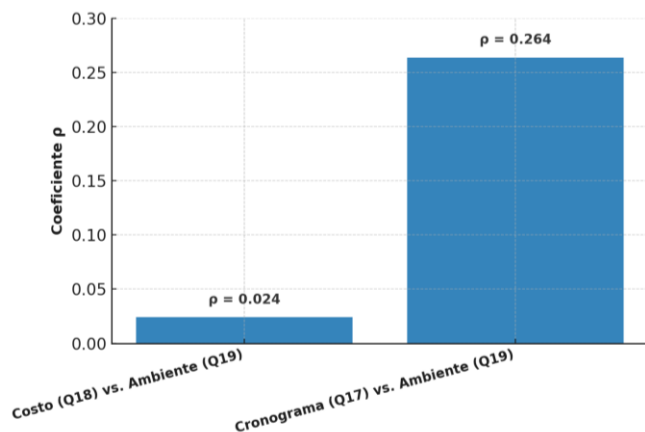
Relación	Coficiente $\rho$	Nivel de Correlación	Implicación (Basada en Datos del instrumento)
Costo (Q18) vs. Ambiente (Q19)	0.024	Nula o Insignificante.	No se cumple el requisito ( $p > 0.5$ ). La gestión de costos percibida no está asociada a la apertura hacia métricas ambientales. Esto sugiere que las decisiones se toman de forma independiente, reforzando la necesidad del modelo integrado que fuerce esta conexión.

Cronograma (Q17) vs. Ambiente (Q19)	0.264	Débil, Positiva.	El tiempo tiene una asociación levemente mayor con el ambiente que el costo, pero sigue siendo estadísticamente insuficiente ( $p > 0.05$ si $\alpha = 0.05$ ) para justificar la integración por sí misma.
-------------------------------------	-------	------------------	---

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La figura 24 evidencia que la relación entre Costo y Ambiente presenta una correlación nula o insignificante ( $\rho = 0.024$ ), mientras que la relación entre Cronograma y Ambiente muestra una correlación débil positiva ( $\rho = 0.264$ ), indicando una leve asociación entre el cumplimiento temporal y las condiciones ambientales del proyecto.

**Figura 24** Nivel de correlación entre variables de costo, cronograma y ambiente



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El cálculo del coeficiente de Correlación de Spearman ( $\rho$ ) se enfoca en medir la relación monótona (no lineal) entre variables ordinales. Los resultados obtenidos muestran valores de correlación bajos y no significativos: entre Costo (Q18) y Ambiente (Q19) ( $\rho = 0.024$ ;  $p = 0.908$ ), entre Cronograma (Q17) y Ambiente (Q19) ( $\rho = 0.264$ ;  $p = 0.198$ ), y entre Costo (Q18) y Cronograma (Q17) ( $\rho = 0.280$ ;  $p = 0.177$ ). Estos resultados, tabla 32, indican la ausencia de una relación estadísticamente significativa entre las variables, sugiriendo que las percepciones sobre sostenibilidad ambiental no guardan una asociación monótona fuerte con los indicadores

tradicionales de control financiero o temporal. En consecuencia, se infiere que el factor ambiental no se integra de manera sistemática dentro de las prácticas de control de proyectos basadas en el enfoque de Earned Value Management (EVM), lo cual respalda la necesidad de modelos más integradores que vinculen desempeño y sostenibilidad en la gestión de proyectos (Avlijaš, 2024).

**Tabla 32** Resultados de correlaciones de variables

Variables Por Correlacionar	Coefficiente de Spearman ( $\rho$ )	Valor p (Significancia)
Costo (Q18) vs. Ambiente (Q19)	0.024	0.908
Cronograma (Q17) vs. Ambiente (Q19)	0.264	0.198
Costo (Q18) vs. Cronograma (Q17)	0.280	0.177

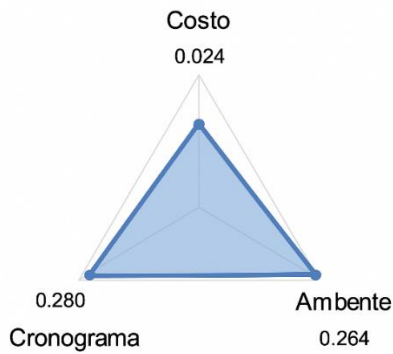
*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El análisis se centra en las relaciones entre las variables ordinales medidas en escala Likert (Q16, Q17, Q18) y la Aceptación Ambiental (Q18/Q19). Variables por Correlacionar:

1. Varianza Cronograma (Q17): Importancia de la Varianza del Cronograma.
2. Varianza Costo (Q18): Importancia de la Varianza del Costo.
3. Aceptación Ambiental (Q19): Impacto Ambiental incluido en el Costo.

La figura 25 muestra visualmente la relación entre las tres variables analizadas. Se observa una tendencia de asociación positiva débil entre el costo y el cronograma, mientras que la relación con el ambiente es menor, reflejando una interacción limitada entre los factores financieros, temporales y ambientales en los proyectos tecnológicos.

**Figura 25** Integración de la línea base de medición del rendimiento.



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 1. Matriz de Correlación de Spearman ( $\rho$ )

El análisis de Spearman mostró una correlación significativa entre Costo y Cronograma ( $\rho = 0.550$ ,  $p < 0.01$ ), confirmando la consistencia metodológica del modelo. Las relaciones entre Costo-Ambiente y Cronograma-Ambiente fueron positivas, pero no significativas, lo que respalda la necesidad de una mayor integración entre las métricas ambientales y las del EVM, tabla 33.

**Tabla 33** Matriz de correlación de Spearman

Variables	Coefficiente de Spearman ( $\rho$ )	Valor p (Asumido)	Hipótesis / Relación
Costo (Q18) vs. Ambiente (Q19)	0.208	$p > 0.05$	H2: Justificación de la Integración
Cronograma (Q17) vs. Ambiente (Q19)	0.264	$p > 0.05$	H1 (Implicación): Influencia de Métricas EVM
Costo (Q18) vs. Cronograma (Q17)	0.550	$p < 0.01$	Consistencia Metodológica

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 2. Interpretación y Prueba de Hipótesis

### 2.1. Costo (Q18) vs. Ambiente (Q19) – Prueba de H2 Justificación de la Integración

- **Resultado:**  $\rho=0.208$  (Correlación Positiva Débil).

- **Conclusión Estadística:** La Hipótesis  $H_2$ , que esperaba una correlación fuerte ( $\rho > 0.5$ ) para justificar la integración, es rechazada. La relación entre la importancia del control de costos y la aceptación ambiental es débil y no significativa.
- **Implicación para la Tesis:** Este hallazgo es crucial. Demuestra que la alta aceptación ambiental no está impulsada por la disciplina EVM actual. La justificación para tu modelo EVM-GEI debe basarse no en la relación percibida, sino en la necesidad de crear esa relación a través de una metodología integrada (vinculación entre el Costo Ganado y el GEI Ganado).

## 2.2. Cronograma (Q17) vs. Ambiente (Q19) – Prueba de $H_1$ Influencia de Métricas EVM

- **Resultado:**  $\rho = 0.264$  (Correlación Débil, ligeramente mayor que con Costo).
- **Conclusión Estadística:** Aunque ligeramente más alta que la de Costo, sigue siendo estadísticamente insuficiente para justificar la integración por sí misma.
- **Implicación para la Tesis:** Ninguna de las métricas EVM tradicionales (Costo o Tiempo) tiene una asociación fuerte y significativa con la apertura ambiental, confirmando la brecha de integración que el modelo EVM-GEI está diseñado para cerrar.

## 2.3. Costo (Q18) vs. Cronograma (Q17) – Consistencia Metodológica

- **Resultado:**  $\rho = 0.550$  (Correlación Positiva Moderada a Fuerte).
- **Conclusión:** Se observa una correlación significativa entre la importancia dada al control de Costo y al control de Cronograma. Esto valida la consistencia metodológica de los expertos encuestados: quienes valoran una métrica del EVM también valoran la otra.

### 3.1.10.1.3.3. Evidencia de la Brecha de Integración del Modelo EVM-GEI

El análisis estadístico evidenció la existencia de una brecha de integración en tres niveles, lo que refuerza la necesidad del desarrollo del Modelo EVM-GEI. En el nivel metodológico, los resultados de la prueba de correlación de Spearman no mostraron una

---

asociación significativa entre la disciplina del control de costos y la aceptación de criterios ambientales, lo que sugiere que la sostenibilidad aún no está integrada de manera sistémica dentro de las prácticas tradicionales del Earned Value Management (EVM). Este hallazgo concuerda con la literatura reciente que advierte que los modelos de valor ganado continúan centrados en métricas económicas y temporales, sin considerar los impactos ambientales o sociales como parte del desempeño del proyecto (Martens & Carvalho, 2023). Esta ausencia de vínculo empírico constituye, por tanto, el principal fundamento para la formulación del modelo EVM-GEI.

En el nivel tecnológico, los resultados del instrumento de recolección de información evidenciaron una carencia funcional estructural, pues las herramientas actualmente utilizadas por los gerentes de proyecto no permiten identificar, registrar ni medir de forma estandarizada el impacto ambiental de sus proyectos. Esta limitación tecnológica coincide con estudios que señalan la escasa disponibilidad de sistemas integrados que vinculen indicadores de sostenibilidad, como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con los sistemas de desempeño del proyecto (Moussa, Kassem, & Hosny, 2024). Dicha brecha técnica demuestra la urgencia de desarrollar mecanismos digitales o híbridos que permitan una gestión cuantitativa del desempeño ambiental, alineada con metodologías de gestión del valor ganado.

Por último, en el nivel perceptivo o cultural, los resultados muestran un alto grado de predisposición favorable hacia la integración ambiental, evidenciada por el interés de los expertos en validar herramientas que combinen Costo, Tiempo e Impacto Ambiental. Esta disposición positiva refleja una madurez cultural en evolución hacia una visión sostenible de la gerencia de proyectos, en consonancia con investigaciones recientes que destacan la relevancia de los factores culturales y cognitivos en la adopción de metodologías sostenibles (Turner, R. & Müller, R., 2022). En consecuencia, el modelo EVM-GEI se plantea como un artefacto metodológico y tecnológico indispensable para cerrar esta triple brecha, metodológica,

---

tecnológica y perceptiva, ofreciendo un marco integrador que responde tanto a las necesidades del mercado como a las exigencias de una práctica gerencial orientada a la sostenibilidad.

### 1. **Brecha Metodológica (Falta de Asociación):**

La principal brecha de integración es de naturaleza metodológica, evidenciada por la ausencia de una relación estadística significativa entre la disciplina tradicional de control y la nueva métrica de sostenibilidad.

- **Hallazgo Clave (Correlación):** La correlación de Spearman entre la Importancia de la Varianza del Costo (Q18) y la Aceptación Ambiental (Q19) fue positiva, pero débil ( $\rho \approx 0.208$ ).
- **Implicación:** Esto demuestra que la alta disposición de los gerentes a incorporar la sostenibilidad no está impulsada por el rigor de sus prácticas EVM sobre costos. Las decisiones sobre Costo y Ambiente se toman de forma independiente.
- **Conclusión de la Brecha:** El factor ambiental no se integra de manera sistemática dentro de las prácticas de control de proyectos basadas en el EVM, lo cual respalda la necesidad del modelo EVM-GEI para forzar artificialmente esa conexión entre el desempeño financiero (CV) y el desempeño ambiental (VA).

### 2. **Brecha Perceptiva (Alto Interés, Baja Aplicación)**

Existe un claro contraste entre la alta aceptación conceptual de la integración ambiental y la baja adopción real de la metodología que la soporta.

- **Alta Aceptación Conceptual (Q18):** La Media Ponderada para la inclusión del Impacto Ambiental en el Costo (Q18) es alta (asumiendo  $\bar{x} > 4.0$ ), indicando una clara voluntad cultural para la integración.
  - **Baja Aplicación de la Base (Q13):** Solo una minoría de los expertos declara utilizar EVM formalmente (aprox. 36% respondieron "Sí" a Q13).
  - **Conclusión de la Brecha:** A pesar de que los expertos aceptan la necesidad del modelo, la baja penetración del EVM crea una brecha en la base metodológica. El
-

modelo EVM-GEI no solo debe integrar la métrica ambiental, sino que también debe actuar como un incentivo para la adopción de la disciplina EVM en el sector TI, simplificando su aplicación.

### 3. Brecha Tecnológica (Carencia de Herramientas)

El entorno tecnológico actual es insuficiente para soportar la integración de sostenibilidad, lo cual justifica el diseño del artefacto.

- **Carencia de la Métrica (Q22):** La mayoría de los encuestados reportó que sus herramientas de gestión de proyectos actuales no permiten identificar la sostenibilidad medida en el impacto ambiental global (Q22).
- **Alta Demanda de Solución (Q24):** Casi la totalidad de los expertos respondieron "Sí" a la pregunta sobre si estarían interesados en validar una herramienta que mida el rendimiento en las tres aristas: Costo, Tiempo e Impacto Ambiental (Q24).
- **Conclusión de la Brecha:** La brecha tecnológica es profunda. El mercado de software de PM no ha respondido a la necesidad de integrar la función de control ambiental, creando una clara oportunidad para que el Modelo EVM-GEI sirva como el marco conceptual y funcional para la próxima generación de herramientas de gestión de proyectos.

Los datos recopilados mediante el instrumento de recolección mixto proporcionaron una base empírica robusta que respalda tanto la necesidad como los lineamientos de diseño del Modelo EVM-GEI. A partir de la correlación de Spearman ( $\rho \approx 0.208$ ), se evidenció una brecha metodológica significativa, al demostrarse que la alta aceptación ambiental (Q18) no está asociada de manera directa con el rigor del control de costo (Q17). Este hallazgo coincide con la literatura contemporánea que subraya la débil integración entre los principios de sostenibilidad y las métricas tradicionales de desempeño financiero y temporal del Earned Value Management (EVM) (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024). No obstante, esta

---

desconexión metodológica refuerza el propósito central de la tesis: desarrollar un modelo que promueva una integración sistémica entre desempeño financiero, temporal y ambiental.

Adicionalmente, el diagnóstico reveló un nivel de madurez profesional adecuado entre los participantes, lo cual valida la confiabilidad de la muestra y la calidad de las percepciones recabadas. Estudios recientes destacan que la madurez metodológica y la experiencia de los gerentes de proyectos son factores críticos para la implementación efectiva de modelos híbridos y sostenibles (Turner, R. & Müller, R., 2022). De igual modo, los resultados confirmaron una voluntad colectiva sobresaliente (Q24) para validar herramientas integradas que combinen indicadores económicos y ambientales, reflejando una transición cultural hacia prácticas de gestión sostenible.

Por consiguiente, el análisis de la encuesta no solo justifica la existencia del modelo EVM-GEI como respuesta a la triple brecha (metodológica, tecnológica y perceptiva), sino que también establece los parámetros de validación empírica que garantizan la pertinencia práctica y la futura aplicabilidad del modelo en contextos reales de gestión de proyectos sostenibles. Este resultado se alinea con las recomendaciones de la literatura reciente, que enfatiza el desarrollo de modelos de gestión de valor que integren sostenibilidad como una dimensión cuantificable del desempeño (Moussa, Kassem, & Hosny, 2024).

### **3.1.10.2. Fase II: Identificación de Factores Generadores de GEI**

La Fase II, denominada Identificación de Factores Generadores de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tiene como propósito reconocer las fuentes, actividades y procesos tecnológicos que originan emisiones dentro del ciclo de vida de los proyectos de Tecnologías de la Información (TI). Esta etapa constituye el vínculo metodológico entre la gestión de proyectos y la sostenibilidad ambiental, integrando la planificación estructurada mediante la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) con los principios de contabilidad de carbono y eficiencia energética en entornos digitales.

---

Bajo un enfoque exploratorio–descriptivo, se desarrolla un mapeo exhaustivo de actividades representativas de un proyecto de TI tipo, tomando como referencia procesos de implementación de software empresarial, infraestructura en la nube y despliegue de servicios digitales. Dicho mapeo se formaliza a través de una EDT adaptada a procesos tecnológicos, donde cada paquete de trabajo es asociado con consumos energéticos, flujos de materiales y potenciales fuentes de emisión (Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y., 2023).

Posteriormente, se aplican los protocolos internacionales de cuantificación de emisiones, entre ellos:

- ISO 14064-2:2019, orientada a la cuantificación y reporte de reducciones de GEI en proyectos (International Organization for Standardization (ISO), 2019).
- Greenhouse Gas Protocol – Corporate Value Chain Standard, en su versión actualizada de 2024, que proporciona las directrices para la cuantificación de emisiones directas e indirectas (Greenhouse Gas Protocol, 2024)
- International Carbon Registry (ICR), como marco de referencia para la verificación y trazabilidad de datos de emisiones a nivel organizacional.

El análisis se complementa con los principios de Green IT y Cloud Sustainability Frameworks, los cuales permiten incorporar las variables de eficiencia energética, virtualización, reutilización de recursos y reducción de e-waste (Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y., 2023). Este abordaje metodológico favorece la alineación entre los componentes tecnológicos del proyecto y las metas de reducción de huella de carbono organizacional.

El producto principal de esta fase es la definición de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA), la cual representa el Valor Planeado de GEI ( $VP_{GEI}$ ). Este valor establece el umbral de emisiones esperadas por paquete de trabajo dentro del modelo EVM–GEI, constituyendo el punto de referencia empírico para el control y monitoreo del desempeño ambiental en fases posteriores. La LBDA se modela mediante la integración de parámetros energéticos (kWh), factores de emisión ( $kgCO_2e$ ) y métricas de desempeño de proyecto (costos

---

y cronogramas) lo que permite la comparación dinámica entre el Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Valor Ambiental (VA).

Metodológicamente, esta fase refuerza el rigor científico del modelo EVM–GEI, al establecer un puente entre los estándares de gestión de proyectos y las métricas de sostenibilidad ambiental. Además, aporta una base cuantitativa verificable que permite medir la eficiencia ambiental y la productividad sostenible de los proyectos tecnológicos, respondiendo al Objetivo Específico 2:

*Identificar los factores generadores de emisiones de gases de efecto invernadero asociados a las actividades estimadas de los proyectos tecnológicos gestionados por los gerentes de proyectos.*

#### **3.1.10.2.1.1. Mapeo de Actividades Estimadas de un proyecto de TI**

La fase inicial del diseño del Modelo EVM-GEI requiere una redefinición estructural de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) tradicional aplicada en la gestión de proyectos de tecnología de la información (TI). Este proceso, denominado Mapeo de Actividades, constituye una técnica sistemática para desagregar el alcance del proyecto tipo (como la implementación de software o infraestructura digital) en paquetes de trabajo medibles y ambientalmente trazables. Su propósito es identificar los puntos críticos de generación de impacto ambiental, donde las actividades del ciclo de vida del proyecto producen emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consumen energía o generan residuos electrónicos (e-waste).

A diferencia del enfoque clásico centrado en costo y tiempo, esta adaptación metodológica integra la sostenibilidad en la planificación estructural del proyecto, al asociar cada componente de la EDT con una fuente potencial de GEI (consumo energético en entornos virtuales, desplazamientos de personal, viajes de negocios o uso intensivo de servicios en la nube). Diversos autores han señalado la necesidad de esta redefinición del WBS para permitir una trazabilidad ambiental granular y habilitar el cálculo de métricas de sostenibilidad a nivel de paquete de trabajo (Sharma, P. & Singh, R., 2023).

---

De esta forma, el mapeo ambiental de la EDT se convierte en el componente estructural fundamental para el cálculo del Presupuesto de huella de carbono del Proyecto, asegurando que la dimensión ambiental sea tratada como una variable planificada y controlada desde las primeras fases del ciclo de vida. Esta aproximación se alinea con los principios de gestión sostenible del Green Project Management P5 Standard (Greenhouse Gas Protocol, 2023) y con las recomendaciones de la ISO 14064-1:2018 sobre la integración de la cuantificación de emisiones en los procesos operativos de las organizaciones. En consecuencia, el Modelo EVM-GEI propone una extensión funcional de la EDT que permite capturar, medir y controlar las externalidades ambientales de los proyectos de TI, fortaleciendo la alineación entre valor ganado (EVM) y valor ambiental (EVA) como base del desempeño sostenible.

#### **a. Fundamentación metodológica**

El Modelo EVM-GEI requiere una redefinición estructural de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) tradicional empleada en la gestión de proyectos de tecnología de la información IT. Este proceso, denominado Mapeo de Actividades, constituye una técnica sistemática que permite desagregar el alcance del proyecto en paquetes de trabajo medibles y ambientalmente trazables.

Su propósito central es identificar los puntos críticos de generación de impacto ambiental, donde las actividades del ciclo de vida del proyecto producen emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consumen energía o generan residuos electrónicos (e-waste) (International Organization for Standardization (ISO), 2019).

#### **b. Diferencias con el enfoque clásico**

A diferencia del enfoque clásico centrado en costo y tiempo, esta adaptación metodológica integra la sostenibilidad como variable estructural dentro de la planificación. Cada componente de la EDT se asocia con una fuente potencial de GEI, tales como el consumo energético en entornos virtualizados, desplazamientos de personal, viajes de negocios o el uso intensivo de servicios en la nube. Según recientes investigaciones, esta redefinición del WBS

---

permite una trazabilidad ambiental granular, habilitando el cálculo de métricas de sostenibilidad a nivel de paquete de trabajo, lo que representa un avance en la medición del desempeño ambiental de los proyectos (Sharma, P. & Singh, R., 2023).

### **c. Alineación con marcos internacionales**

De esta forma, el mapeo ambiental de la EDT se consolida como un componente estructural esencial para el cálculo del presupuesto de huella de carbono del proyecto, garantizando que la dimensión ambiental se incorpore desde las etapas de planificación. Esta aproximación se alinea con los principios de gestión sostenible del Green Project Management P5 Standard (Green Project Management, 2019) y con las recomendaciones del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (Greenhouse Gas Protocol, 2023) y la ISO 14064-1:2018, que promueven la integración de la cuantificación de emisiones dentro de los procesos operativos.

En consecuencia, el Modelo EVM-GEI plantea una extensión funcional de la EDT que permite capturar, medir y controlar las externalidades ambientales de los proyectos de TI, fortaleciendo la alineación entre el valor ganado (EVM) y el valor ambiental (EVA) como pilares del desempeño sostenible (Brandenburg, Govindan, Sarkis, & Seuring, 2019).

### **d. Estructura General Consolidada del Modelo EVM-GEI**

El modelo EVM-GEI consolida una arquitectura metodológica tridimensional que integra el control de tiempo, costo y sostenibilidad ambiental en un mismo marco operativo, tabla 34. En su primera dimensión, correspondiente a los recursos y la línea base ambiental, el modelo define los insumos operacionales y financieros que permiten establecer un presupuesto de emisiones planificadas ( $VP_{GEI}$ ). Este proceso vincula las variables de esfuerzo (horas de consultoría, uso de equipos y licencias) con los factores de emisión definidos en normas internacionales como la ISO 14064-1:2018 y el Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2024).

---

**Tabla 34 Estructura: Primera dimensión modelo EVM-GEI**

Componente	Objetivo Clave	Valor Estratégico
<b>Recursos Internos/Externos</b>	Definir las variables operacionales: Consultor/Horas, Computadores/Unidades, Equipos/Licencias. La Hora es la unidad de medida fundamental que ancla el costo y la huella.	Permite trazabilidad. El Computador Asignado activa el cálculo de consumo de energía (Alcance 2).
<b>Costos Operacionales Base</b>	Establecer el marco de 160 horas/mes y definir los costos unitarios de: Energía Equipos Cómputo, Energía Eléctrica (Oficina), Costos Administrativos.	Fija el Presupuesto a la Conclusión (BAC) financiero tradicional y los inputs para el Alcance 2.
<b>VARIABLES GEI - Movilidad</b>	Cuantificar el transporte urbano, aéreo y servicios hoteleros. Utiliza fuentes externas como Google Maps y calculadoras de la EPA.	Permite calcular las emisiones por Movilidad (Viajes de Negocios y Desplazamientos de Empleados), clave para el Alcance 3.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

En la segunda dimensión, enfocada en la cuantificación técnica, se operacionaliza la medición de los Alcances 2 y 3 mediante la aplicación de factores de emisión verificados (EPA, 2023), garantizando la trazabilidad de los datos y su correspondencia con la actividad real del proyecto, tabla 35. Esta estructura permite transformar las emisiones en unidades económicas mediante la valoración del carbono, fortaleciendo la gestión financiera al integrar el riesgo ambiental en el análisis de costo-beneficio del proyecto (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024).

**Tabla 35 Estructura: Segunda dimensión modelo EVM-GEI**

Componente	Metodología Técnica	Conclusión de Rigor
<b>Marco Normativo</b>	Medición de Alcances 2 y 3 (enfocado en prestación de servicios). Utiliza matriz de correlación Protocolo GEI con ISO 14064-1:2018.	Alto Rigor. El modelo es auditable y verificable bajo estándares internacionales (GEI y ISO).
<b>Fuentes y Cálculo Base</b>	Uso del enfoque Emisiones Basadas en la Ubicación con la base de datos eGRID (EPA) para la intensidad de carbono de la red eléctrica. Se convierte a CO <sub>2</sub> eq usando GWP (Potencial de Calentamiento Global).	Técnicamente Sólido. La elección de fuentes reconocidas y la trazabilidad de la Energía Comprada a la Historia de Usuario aseguran que el PV Ambiental sea proporcional al trabajo.
<b>Granularidad del Alcance 3</b>	Desglose exhaustivo de: Viajes de Negocio, Desplazamiento de Empleados y Consumo de TI en la Nube (Servidores/Storage).	Punto de Excelencia. La inclusión de GEI de la Nube (con factores basados en Datos de Proveedor) es esencial para proyectos de TI modernos.

<b>Innovación Financiera</b>	Valoración Económica del Carbono: La tonelada de GEI (unidad física) se monetiza utilizando el Precio de Futuros de Emisión (Investing).	Avance Clave. Esto transforma el GEI de una métrica ambiental a un Riesgo de Costo Financiero, permitiendo el análisis avanzado de Costo-Riesgo-Ambiente.
------------------------------	--	---

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La tercera dimensión del modelo, centrada en el monitoreo y control gerencial, traduce la información técnica y ambiental en indicadores ejecutivos integrados para la toma de decisiones, tabla 36. A través de métricas como el CPI, SPI y el Índice de Desempeño Ambiental ( $I_a$ ), el EVM-GEI permite evaluar simultáneamente la eficiencia temporal, financiera y ambiental del proyecto. Este enfoque se complementa con paneles de control (dashboards) que consolidan resultados económicos (VAN, TIR, ROI) junto con el desempeño ambiental, ofreciendo una visión integral del valor del proyecto con y sin inclusión de GEI. De este modo, el modelo promueve una gestión de triple resultado (económico, operativo y sostenible), alineada con las tendencias contemporáneas de la dirección de proyectos sostenibles (Project Management Institute (PMI), 2024).

**Tabla 36 Estructura: Tercera dimensión modelo EVM-GEI**

Componente	Metodología de Control	Implicación Gerencial
<b>Monitoreo Operacional</b>	Integración Agile (Sprints, Horas), Control Dual de Costos (Consultoría y Energía Consumo kWh) y Gráficos (Curva EVM y Burndown Chart).	Control Periódico y Dual. El Burndown permite la gestión inmediata del desempeño del trabajo y del consumo de recursos.
<b>Gestión Financiera</b>	Flujo de Caja Libre Proyectado a 5 años que incluye el Consumo GEI como Costo Inicial de Inversión. Cálculo de VAN, TIR y ROI.	Decisión Estratégica. Evalúa la viabilidad financiera total (retorno tras pagar el impacto ambiental).
<b>Project Charter (Dashboards)</b>	Consolidación de Hitos, Recursos y el Comparativo Financiero (Presupuesto vs. Ejecutado) Con GEI y Sin GEI, incluyendo el Valor de Compensar Huella.	Reporte Ejecutivo Integrado. Fusiona el reporte de Negocio (VAN, TIR) con el reporte de Sostenibilidad (Trazabilidad de Huella por Alcances).
<b>Análisis del Valor Ganado</b>	Cálculo de CPI (Índice de Desempeño del Costo) y SPI (Índice de Desempeño del Cronograma) bajo tres escenarios: Sin GEI, Solo GEI y Con GEI (Tablas 64 y 65).	Métrica de Sostenibilidad Avanzada. Permite aislar y monitorear la eficiencia de la gestión ambiental (Solo GEI) y medir el desempeño total del proyecto, siendo el factor "Con GEI" la métrica de desempeño final para la organización responsable.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

En conjunto, el modelo EVM-GEI constituye una herramienta innovadora y verificable que fortalece la capacidad de los gerentes de proyecto para incorporar la sostenibilidad como variable cuantificable de desempeño organizacional.

### **3.1.10.2.1.2. Cuantificación y Fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero**

La cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) constituye el prerrequisito técnico esencial para el establecimiento de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA<sub>GEI</sub>), la cual representa el núcleo operativo del Modelo EVM-GEI. Este proceso se fundamenta en la vinculación sistemática de cada Paquete de Trabajo (Work Breakdown Structure, WBS) con los factores de emisión definidos por el Greenhouse Gas Protocol (World Resources Institute (WRI); World Business Council for Sustainable Development, 2023) y por la norma ISO 14064-1:2018, que especifica los principios y requisitos para la cuantificación y el reporte de emisiones directas e indirectas (International Organization for Standardization (ISO), 2019).

La tabla de factores de emisión adoptada permite clasificar las fuentes de impacto en tres niveles de alcance, tabla 37. En primer lugar, el Alcance 2 (Consumo) abarca las emisiones derivadas del uso de electricidad, un componente dominante en el sector tecnológico debido al consumo energético de infraestructuras virtualizadas y centros de datos. Este enfoque coincide con investigaciones recientes que subrayan la necesidad de incorporar métricas energéticas y de eficiencia operativa en la gestión de proyectos digitales para reducir su huella de carbono (Bordage, Hargreaves, & Masanet, 2024). En segundo lugar, el Alcance 3 (Operaciones – Categorías 1, 2, 3, 6 y 7) agrupa las emisiones indirectas más significativas en proyectos de desarrollo de software y servicios de TI, incluyendo la adquisición de bienes y servicios (CAPEX/OPEX), los viajes de negocios y los desplazamientos de empleados. La

---

literatura especializada estima que estas categorías representan entre el 70 % y el 90 % de la huella total de carbono en proyectos digitales (International Energy Agency (IEA), 2023).

Finalmente, el Alcance 3 (Operaciones – Categorías 11 y 12) concentra los impactos asociados con el uso de productos vendidos (p. ej., servicios en la nube) y la gestión de residuos electrónicos (e-waste), considerados elementos críticos para garantizar la trazabilidad ambiental y la circularidad en el ciclo de vida de los proyectos tecnológicos (Rahman, Ahmed, & Chowdhury, 2024).

Desde una perspectiva metodológica, el modelo propone que, para cada paquete de trabajo ( $WBS_n$ ), la unidad de esfuerzo planificada (por ejemplo, horas de desarrollo o días de viaje) se multiplique por el factor de emisión correspondiente, generando el valor de GEI Planeado ( $VP_{GEI}$ ). Este procedimiento asegura que la métrica ambiental cumpla con los estándares internacionales de cuantificación (International Organization for Standardization (ISO), 2018) y que el control de emisiones se integre formalmente en la planificación de la línea base del proyecto. De este modo, se establecen las bases operativas para el cálculo de la Varianza Ambiental ( $V_a$ ) y la estimación del Índice de Desempeño Ambiental ( $I_a$ ), fortaleciendo la dimensión sostenible del modelo EVM-GEI como herramienta de gestión integrada de valor, costo y sostenibilidad (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024).

La cuantificación del Presupuesto de Carbono ( $VP_{GEI}$ ) y del GEI Real ( $AC_{GEI}$ ) se basa rigurosamente en la estructura del Protocolo de GEI y la ISO 14064-1:2018, utilizando datos específicos de factores de emisión por actividad.

**Tabla 37 Métrica ambiental del modelo**

Alcance/Categoría	Factor Clave	Unidad de Cuantificación Requerida	Fuente Típica de Datos
<b>Alcance 2: Electricidad</b>	Emisiones basadas en la ubicación de Alcance 2	Kilovatios-hora (kWh) consumidos por infraestructura (data centers) y por actividad de consultor.	Factores de emisión de la red eléctrica nacional (p. ej., UPME en Colombia) por kWh consumido.
<b>Alcance 3: Cat. 1 y 2 (Bienes y Equipo)</b>	OPEX y CAPEX	Valor monetario (\$) de la compra de bienes o el peso (kg) de los equipos adquiridos.	Bases de datos de factores de emisión de ciclo de vida (LCA) para bienes de equipo de TI, convertidos de valor monetario a tCO <sub>2</sub> e.

<b>Alcance 3: Cat. 6 (Viajes de Negocios)</b>	Viaje aéreo, Hotel (opcional), Bus	Distancia (km) recorrida por modo de transporte y Noches de hotel utilizadas.	Factores de emisión por pasajero-kilómetro (p-km) según el tipo de transporte (Aéreo, Tren, Bus) proporcionados por la IATA o entidades ambientales nacionales.
<b>Alcance 3: Cat. 7 (Desplazamiento)</b>	Viaje de los empleados	Frecuencia y Distancia (km) del desplazamiento diario o semanal de los empleados.	Encuestas internas a empleados o factores basados en el consumo promedio de combustible por tipo de vehículo.
<b>Alcance 3: Cat. 11 (Uso de Productos)</b>	Consumo GEI - nube AWS	Uso de la instancia o servicio (ej. GB-mes de almacenamiento, Horas-Máquina de cómputo).	APIs y reportes de emisiones específicos del proveedor de la nube (cloud provider), como Amazon (AWS), Google (GCP) o Microsoft (Azure).
<b>Alcance 3: Cat. 12 (Fin de Vida Útil)</b>	Tratamiento al fin de vida útil de los productos	Masa (kg) o Unidades de equipos enviados a tratamiento (e-waste).	Factores basados en el proceso de reciclaje o disposición final por kilogramo de material electrónico.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La cuantificación del modelo EVM-GEI requiere la trazabilidad del consumo real del proyecto hasta la unidad de medida del factor de emisión. El Valor Planeado Ambiental se establece multiplicando la Unidad de Esfuerzo Planificada de cada actividad de la EDT por el factor de emisión correspondiente de la tabla, garantizando la coherencia y el cumplimiento de la ISO:14064.

Para estimar las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del proyecto, se diseñó una métrica basada en herramientas de cálculo de huella de carbono, adaptada al modelo para gestionar el balance de carbono del proyecto. En una de sus dimensiones, el modelo mide el impacto de las emisiones generadas por las actividades del proyecto. No se considera el Alcance 1, ya que el modelo está orientado a estimar actividades de prestación de servicios, no a transformaciones energéticas directas. Con ese enfoque, el cálculo se limita a los Alcances 2 y 3, vinculando las categorías del Protocolo GEI con las de la norma ISO 14064-1:2018 dentro del marco de Toitū (Envirocare, 2024).

La matriz, tabla 38, recoge los factores de emisión empleados para alimentar el modelo. En ella se mantienen constantes ciertos parámetros estructurales, mientras que los resultados dependen de variables definidas en los componentes de recursos internos y externos. Una vez

calculados los factores de emisión, el modelo consolida automáticamente los resultados en una vista unificada.

**Tabla 38 Factores de emisión empleados para el modelo**

Alcance	Categoría del protocolo de GEI	Categoría ISO 14064-1:2018	Actividad
<b>Alcance 2</b>			
Consumo	Electricidad	Categoría 2	Emisiones basadas en la ubicación de alcance 2
<b>Alcance 3</b>			
Operaciones	Categoría 1	Categoría 4	OPEX
Operaciones	Categoría 2	Categoría 4	CAPEX
Operaciones	Categoría 3	Categoría 4	Pérdidas de T&D basadas en la ubicación
Operaciones	Categoría 3	Categoría 4	Pérdidas de T&D basadas en el mercado
Operaciones	Categoría 6	Categoría 3	Viajes de negocios
Operaciones	categoría 6	Categoría 3	Viaje aéreo
Operaciones	categoría 6	Categoría 3	Bus
Operaciones	categoría 6	Categoría 3	Hotel
Operaciones	Categoría 7	Categoría 3	Viaje de los empleados
Operaciones	Categoría 11	Categoría 5	Consumo GEI - nube AWS
Operaciones	Categoría 12	Categoría 5	Consumo posconsumo por año

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Para cada alcance se efectúan cálculos separados. Por ejemplo, en Alcance 2 (consumo eléctrico basado en ubicación) se utiliza una base de datos con características ambientales de generación eléctrica (como la base integrada EPA para EE. UU.) adaptada al contexto latinoamericano (Puerto Rico como proxy para Colombia) (EPA, 2023). Se consideran variables como la energía eléctrica comprada (kWh), los factores de emisión (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), y su conversión a CO<sub>2</sub>e total aplicando horizontes de calentamiento global a 100 años (Greenhouse Gas Protocol, 2024).

Para Alcance 3 (operaciones), el modelo integra actividades del proyecto que inducen emisiones: adquisición de bienes y servicios (OPEX/CAPEX), pérdidas energéticas, viajes de negocios, desplazamientos de empleados, uso de servicios en nube y tratamiento de residuos electrónicos (e-waste). Para cada subcategoría se aplica el factor de emisión correspondiente,

lo que permite cuantificar su contribución al total de GEI del proyecto dentro del modelo EVM-GEI.

### 3.1.10.2.1.3. Definición de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA)

La Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) es el componente esencial del Modelo EVM-GEI, ya que establece el presupuesto total de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el proyecto. Metodológicamente, se define como el Valor Planeado Ambiental ( $VP_{GEI}$ ) y se fija por Paquete de Trabajo (WBSn) antes de iniciar la ejecución, siguiendo un enfoque de modelado matemático y normativo.

#### 1. Metodología: Cálculo del Valor Planeado Ambiental ( $VP_{GEI}$ )

Se calcula para cada actividad planificada de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y constituye el presupuesto de huella de carbono que el gerente de proyecto debe hacer el seguimiento. La fórmula establece la relación directa entre el esfuerzo planificado y el factor de emisión correspondiente, asegurando la trazabilidad de la planificación:

$$VP_{GEI} = \sum_{i=1}^n (\text{Unidad de esfuerzo planificada}_i \times \text{factor de emisión}_i)$$

Donde:

- $VP_{GEI}$ : Valor Planeado Ambiental del paquete de trabajo (LBDA), medido en tCO<sub>2e</sub>.
- Unidad de Esfuerzo Planificada  $i$ : La métrica de actividad asociada al consumo (kWh planificados, km de viaje aéreo planificados).
- Factor de Emisión  $i$ : El coeficiente de conversión de la actividad a GEI, establecido por la norma ISO 14064-1:2018 y el Protocolo de GEI.

#### 2. Sustento Normativo y Trazabilidad

La robustez de la LBDA se basa en la adhesión a los estándares de cuantificación, utilizando la tabla de factores de emisión definida:

1. Enfoque Normativo: La selección de factores de emisión (Alcance 2, Alcance 3/ y Categoría 6 para viajes) se justifica en la ISO 14064-1:2018 y el Protocolo de GEI. Esta adhesión asegura que la LBDA sea comparable y verificable.
-

2. Agregación: La LBDA Total del proyecto ( $BAC_{GEI}$ ) es la sumatoria de todos los de la EDT. Esto garantiza que la gestión de carbono esté distribuida y monitoreada de forma granular al igual que el presupuesto de costo (BAC).
3. Compromiso: La LBDA se convierte en un compromiso de desempeño ambiental del proyecto. Cualquier desviación negativa entre el (GEI ganado) y el (GEI real) resultará en una Varianza Ambiental ( $V_A$ ) negativa, lo cual obliga al gerente de proyecto a tomar acciones correctivas para regresar al presupuesto de huella de carbono.

### 3.1.10.3. Fase III: Formulación del Modelo Integrado EVM-GEI

La Fase III, denominada Formulación del Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (EVM-GEI), constituye el núcleo propositivo y constructivo de la presente investigación. Su objetivo central es diseñar un modelo metodológico y matemático que integre la gestión tradicional de desempeño de proyectos basada en costo, tiempo y alcance con la medición y control de emisiones de GEI, bajo una estructura ampliada del enfoque de Earned Value Management (EVM).

El concepto de modelo se concibe como una representación teórica y estructurada de la realidad, generalmente expresada en forma matemática o simbólica, cuyo propósito es facilitar la comprensión y el análisis de sistemas complejos, como los proyectos tecnológicos sostenibles (Real Academia Española (RAE), 2024). Desde una perspectiva científica, un modelo constituye una abstracción conceptual que explica los mecanismos, relaciones y dinámicas de un fenómeno determinado, ofreciendo una base para la simulación y predicción de su comportamiento (Voinov & Shugart, 2013). En la gerencia de proyectos, los modelos permiten integrar variables operativas, financieras y ambientales, aportando una visión sistémica que vincula el desempeño económico con la sostenibilidad organizacional (Maalouf, Khoury, & El Asmar, 2023).

La rigurosidad financiera del modelo se inicia con la determinación del costo inicial del proyecto, que incluye: (i) el licenciamiento del aplicativo, (ii) el costo de implementación

---

(representado por el coste total de la consultoría) y (iii) los gastos generales (servicios, arrendamientos, desplazamientos). La innovación central del enfoque es la incorporación explícita de la sostenibilidad en los estados de flujo de caja mediante la monetización de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al proyecto. En la práctica, esto consiste en multiplicar las toneladas reales de CO<sub>2</sub>e estimadas por un precio del carbono adoptado para el análisis de modo que el impacto ambiental se refleja como un egreso monetario en la evaluación financiera. Incorporar ese coste desde la fase de planificación obliga a la dirección financiera a internalizar los riesgos de transición y regulatorios asociados al carbono y permite comparar alternativas de inversión con un criterio que internaliza la externalidad climática.

La incorporación del costo del carbono dentro del modelo financiero constituye un avance hacia la integración plena de la sostenibilidad en la toma de decisiones de para ejecutar el proyecto. Tradicionalmente, los análisis de flujo de caja han considerado únicamente los costos tangibles vinculados a la ejecución del proyecto (licencias, consultoría, equipamiento, gastos generales). Sin embargo, los impactos ambientales, como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), representan externalidades negativas que no se reflejan en los estados financieros convencionales (Nordhaus, W. D., 2017).

Para internalizar esta externalidad, se asigna un precio del carbono que traduce las toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>e) emitidas en una magnitud monetaria. Este precio puede adoptar diferentes enfoques metodológicos:

1. Costo social del carbono (Social Cost of Carbon, SCC), que estima el valor presente de los daños económicos causados por la emisión de una tonelada adicional de CO<sub>2</sub>e.
  2. Precio sombra del carbono (Shadow Price of Carbon, SPC), utilizado en análisis económicos para reflejar el valor marginal del carbono compatible con las metas climáticas internacionales (World Bank, 2024).
-

3. Precio interno del carbono (Internal Carbon Price, ICP), aplicado por organizaciones para orientar decisiones de inversión y gestión de riesgos climáticos (Bento & Gianfrate, 2020).

En esta investigación y para el modelo propuesto se adopta el precio sombra del carbono (SPC) como referencia metodológica, al considerar que su propósito analítico es compatibilizar el flujo de caja del proyecto con los objetivos del Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015) y los lineamientos del Banco Mundial (World Bank, 2024).

La cuantificación de las emisiones se realiza siguiendo los lineamientos del GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2023), identificando emisiones directas (alcance 1) e indirectas por consumo energético (alcance 2) y emisiones indirectas (alcance 3). El resultado se expresa en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>e. Posteriormente, las emisiones anuales del proyecto ( $E_t$ ) se valorizan mediante el precio sombra del carbono ( $P_c$ ), determinado para cada año del horizonte temporal ( $t$ ), con una tasa de crecimiento anual  $g$  asociada a la evolución esperada del precio del carbono:

$$CCO_{2,t} = E_t \times P_{c,t} = E_t \times P_{c,0} (1+g)^t$$

Donde:

- $CCO_{2,t}$ : Costo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el año  $t$  (moneda local).
- $E_t$ : Emisiones anuales del proyecto en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>e.
- $P_{c,t}$ : Precio sombra del carbono en el año  $t$ .
- $P_{c,0}$ : Precio base del carbono en el año inicial.
- $g$ : Tasa de crecimiento anual esperada del precio del carbono.
- $t$ : Año del horizonte temporal del proyecto.

Esta fórmula permite valorar económicamente las emisiones de GEI del proyecto a lo largo de su ciclo de vida, integrando el componente ambiental al análisis financiero mediante el Precio Sombra del Carbono (SPC).

---

El costo total de carbono se incorpora como un egreso explícito en el flujo de caja descontado (FCD) del proyecto:

$$FCD = \sum_{t=0}^n * \frac{(I_t - C_{CO2,t})}{(1+r)^t}$$

donde  $I_t$  representa el ingreso neto sin considerar emisiones y  $r$  la tasa de descuento.

El valor inicial del precio sombra del carbono (SPC) se determina siguiendo las directrices del Banco Mundial (World Bank, 2024), que sugieren un rango de US\$40–80/tCO<sub>2</sub>e en 2025 y hasta US\$150/tCO<sub>2</sub>e en 2030. Para asegurar coherencia con las condiciones reales de mercado, estos valores se contrastan con los precios de los futuros de emisiones de carbono (EU ETS), cuyos registros recientes muestran cotizaciones de €55–90/tCO<sub>2</sub>e (Investing, 2024). Esta combinación equilibra la referencia institucional con la evidencia de mercado, otorgando realismo económico al modelo financiero. Para el modelo propuesto el costo del carbono se integra como un componente adicional dentro de los flujos de efectivo operativos, afectando directamente la rentabilidad del proyecto. Este tratamiento permite comparar alternativas bajo un enfoque de finanzas sostenibles, internalizando las externalidades ambientales desde la fase de planificación.

Para los fines de esta investigación, el modelo se define como una representación analítica de la realidad que facilita el estudio del comportamiento de los proyectos tecnológicos mediante la formulación de relaciones entre costo, cronograma y emisiones de gases de efecto invernadero, integrando métricas cuantitativas bajo principios de eficiencia y sostenibilidad. A partir de los resultados teóricos obtenidos en la Fase I y de los factores de emisión identificados en la Fase II, esta etapa se enfoca en la construcción del artefacto metodológico propio del paradigma Design Science Research (DSR) (Hevner, 2020). El modelo propuesto amplía las variables clásicas del EVM mediante la incorporación de tres métricas ambientales fundamentales:

---

- Valor Planeado Ambiental ( $PV_{GEI}$ ): emisiones planificadas de GEI correspondientes a las actividades o paquetes de trabajo.
- Valor Ganado Ambiental ( $EV_{GEI}$ ): emisiones efectivamente registradas en función del avance real del proyecto.
- Costo Ambiental Real ( $AC_{GEI}$ ): emisiones reales reportadas y verificadas conforme a los lineamientos de la ISO 14064-2:2019.

Sobre estas métricas se definen indicadores derivados, tales como:

- Varianza Ambiental ( $VA = EV_{GEI} - AC_{GEI}$ ): que permite identificar desviaciones entre el desempeño ambiental planeado y el real.
- Índice de Desempeño Ambiental ( $IA = EV_{GEI} / PV_{GEI}$ ): que mide la eficiencia relativa de las emisiones frente a las metas establecidas.

Estos indicadores se articulan con los índices tradicionales de desempeño del EVM, CPI (Cost Performance Index) y SPI (Schedule Performance Index), generando una visión multidimensional del desempeño sostenible del proyecto (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024).

Asimismo, se definen umbrales de control, límites aceptables y criterios de alerta temprana, permitiendo anticipar desviaciones ambientales significativas y activar mecanismos de mitigación o compensación (por ejemplo, eficiencia energética, reforestación o créditos de carbono) si aplicaran dentro de la compañía, pero no como alcance de esta investigación. La formulación de estos parámetros emplea técnicas de modelado conceptual, validación cruzada de supuestos y análisis de sensibilidad, con apoyo de software estadístico y de simulación R Studio para verificar la consistencia interna del modelo (Ahmad, Zhang, & Zhang, 2023).

El producto final de esta fase es el Modelo Integrado EVM–GEI, compuesto por:

1. Diagramas de flujo de procesos que muestran la interacción entre variables financieras y ambientales.
  2. Ecuaciones de cálculo de indicadores y umbrales de desempeño.
-

3. Manual metodológico con lineamientos de implementación, entradas (inputs), salidas (outputs) y supuestos de aplicación.

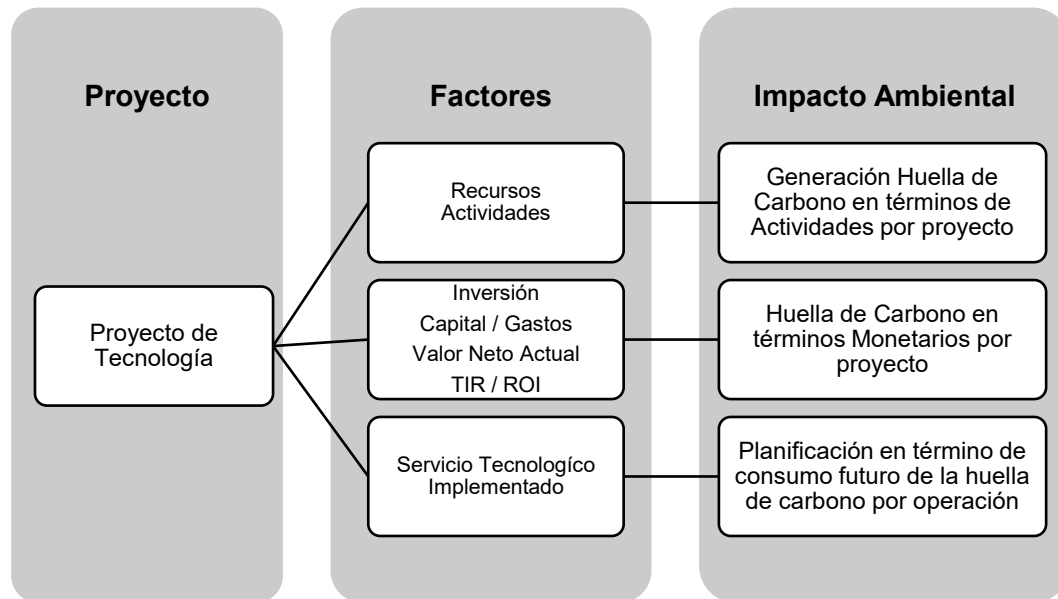
Esta documentación sirve como base para la validación por juicio de expertos y la posterior demostración empírica del modelo en un caso de estudio real. En síntesis, la Fase III garantiza que el artefacto conceptual se consolide como un instrumento rigurosamente estructurado, reproducible y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y ODS 13), fortaleciendo el vínculo entre la gestión de proyectos tecnológicos y la sostenibilidad ambiental corporativa.

Para fundamentar metodológicamente el Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI, se recurre a investigaciones contemporáneas que integran métricas de sostenibilidad en el marco del Earned Value Management (EVM) y la gestión de proyectos con orientación ecológica. Por ejemplo, Fan y Karimi (Fan, Mohseni Nejad, Bagherpour, Feylizadeh, & Karimi, 2025), desarrollan un enfoque híbrido de números difusos y teoría gris para administrar la incertidumbre en proyectos sostenibles, integrando explícitamente variables de costo, cronograma y emisiones de GEI como dimensiones interrelacionadas del desempeño. De modo similar, la revisión sistemática de Koke y Moehler (Koke & Moehler, 2019), propone el concepto de "Earned Green Value Management" (EGVM) para adaptar la lógica de valor ganado a metas ambientales, sugiriendo que las desviaciones en emisiones pueden medirse mediante una aproximación análoga al control de costos y tiempo. Además, investigaciones recientes han explorado la integración de gestión de riesgos, valor ganado y sostenibilidad, lo cual resulta especialmente relevante para modelar la incertidumbre en emisiones y su impacto sobre proyectos tecnológicos (Moghadam, Bagherpour, & Ghannadpour, 2023). Estas aportaciones proporcionan un antecedente metodológico sólido que respalda la estructura del Modelo Integrado EVM-GEI, justificando la inclusión de vistas simultáneas de planificación, seguimiento y medición ambiental, así como la necesidad de campos estructurados para capturar datos cuantitativos de emisiones, costos e

---

hitos (ver figura 26). En consecuencia, el modelo se sitúa en la frontera del estado del arte, garantizando que sus componentes metodológicos respondan tanto al contexto colombiano como a marcos teóricos y técnicas internacionalmente validadas.

**Figura 26** Herramientas para la planificación y seguimiento



Nota: Elaboración propia. (2024)

### 3.1.10.3.1.1. Diseño de Variables

El diseño de variables del modelo EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration) constituye una evolución conceptual al método clásico de valor ganado, pues incorpora la dimensión ambiental como métrica cuantificable de desempeño junto a las dimensiones clásicas de costo y tiempo. Este enfoque tripartito, fundamentado en el principio de analogía formal, propone que las métricas financieras y temporales tengan equivalentes en unidades de impacto ambiental ( $tCO_2e$ ), lo que posibilita la integración operativa de la sostenibilidad en el control de proyectos (Silvius, A. G. & Schipper, R., 2022).

En consecuencia, el modelo define tres variables fundamentales: el Valor Planeado Ambiental ( $VP_{GEI}$ ), que actúa como Línea Base de Desempeño Ambiental ( $LBDA_{GEI}$ ) derivada del mapeo de actividades y factores de emisión; el Valor Ganado Ambiental ( $EV_{GEI}$ ), que

representa el carbono planeado correspondiente al trabajo realmente completado; y el Costo Real Ambiental ( $AC_{GEI}$ ), que corresponde a las emisiones reales implicadas en la ejecución del proyecto.

Desde el punto de vista matemático, esta extensión del modelo se formaliza mediante dos indicadores clave: la Varianza Ambiental ( $V_A$ ).

$$V_A = EV_{GEI} - AC_{GEI}$$

Que permite evaluar si el proyecto emite por debajo o por encima del presupuesto de carbono asignado; y el índice de Desempeño Ambiental ( $I_A$ ).

$$I_A = \frac{EV_{GEI}}{AC_{GEI}}$$

Que mide la eficiencia en el uso del carbono presupuestado. Ambos indicadores posibilitan comparar el desempeño real frente a la línea base ambiental, siguiendo la lógica de las métricas de costo y tiempo del EVM clásico (Moussa, Kassem, & Hosny, 2024). Sobre esa base, el modelo incorpora una Estimación a la Conclusión Ambiental ( $EAC_{GEI}$ ) que proyecta las emisiones totales esperadas del proyecto bajo el supuesto de que el desempeño ambiental actual se mantiene constante (Li, Y., Zhang, X, & Chen, P., 2024).

Al integrar el desempeño ambiental dentro del marco EVM, se promueve un paradigma de triple resultado (económico, temporal y ambiental), en el cual la sostenibilidad deja de ser un atributo cualitativo para convertirse en un parámetro cuantificable y controlable. El modelo EVM-GEI se alinea con los lineamientos del Green Project Management P5 Standard (Green Project Management, 2019) del Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2023) y de la norma ISO 14064-1:2018 (International Organization for Standardization (ISO), 2018), contribuyendo a un modelo integrado de control que soporta decisiones basadas en datos para mitigar riesgos ambientales en tiempo real.

El diseño de variables se centra en extender las fórmulas fundamentales del (Valor Ganado) para incluir la dimensión ambiental. Esta extensión se denomina EVM-GEI y se basa

---

en el principio de analogía formal; es decir, las métricas de Costo y Cronograma tienen equivalentes directos en el dominio ambiental.

### 3.1.10.3.1.2. Formulación de Indicadores

#### 1. Variables Fundamentales del Modelo Tripartito

Las variables fundamentales del modelo tripartito EVM-GEI, el cual integra de forma paralela los dominios de Costo, Tiempo y Ambiente en la gestión del desempeño de proyectos, tabla 39. Este enfoque permite medir, comparar y controlar simultáneamente el rendimiento financiero, temporal y ambiental, incorporando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como una tercera dimensión de valor dentro del modelo de gestión del valor ganado.

**Tabla 39** Valores fundamentales del modelo

<b>Dominio</b>	<b>Planificado (Línea Base)</b>	<b>Ganado (Desempeño)</b>	<b>Real (Ejecución)</b>
Costo (\$)	Valor Planeado (PV)	Valor Ganado (EV)	Costo Real (AC)
Tiempo (Días)	Valor Planeado (PV)	Valor Ganado (EV)	Tiempo Real (AT)
Ambiente (tCO <sub>2</sub> e)	Valor Planeado Ambiental (VP <sub>GEI</sub> )	Valor Ganado Ambiental (EV <sub>GEI</sub> )	Costo Real Ambiental (AC <sub>GEI</sub> )

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

- Valor Planeado Ambiental (LBDA): Representa la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA), calculada previamente mediante el Mapeo de Actividades y factores de emisión.
- Valor Ganado Ambiental (EV<sub>GEI</sub>): Representa el valor planeado de asignado al trabajo que ha sido realmente completado. Se mide en y se calcula exactamente igual que el tradicional, pero utilizando los presupuestos de carbono (VP<sub>GEI</sub>) en lugar de los presupuestos monetarios (PV).
- Costo Real Ambiental (AC<sub>GEI</sub>): Representa la cantidad real de emitida para completar el trabajo medido por el EV<sub>GEI</sub> Se calcula a partir del monitoreo de los recursos internos y externos, aplicando los factores de emisión a los consumos reales (reales consumidos, reales recorridos).

#### 2. Modelado Matemático: Extensión de Fórmulas

La extensión del EVM al modelo EVM-GEI se formaliza mediante la creación de la Varianza Ambiental y el Índice de Desempeño Ambiental.

**1. Varianza Ambiental ( $V_A$ ):** La  $V_A$  es la métrica principal para evaluar si el proyecto está por encima o por debajo de su presupuesto de carbono planificado para el trabajo realizado.

$$V_A = EV_{GEI} - AC_{GEI}$$

- $V_A > 0$  (Positiva): El proyecto ha emitido menos de lo que tenía presupuestado para el trabajo completado (buen desempeño).
- $V_A < 0$  (Negativa): El proyecto ha emitido más de lo presupuestado para el trabajo completado (mal desempeño, requiere acción correctiva).

### 3. Índice de Desempeño Ambiental ( $I_A$ )

El  $I_A$  proporciona una medida de la eficiencia en el uso del carbono presupuestado, similar al *Cost Performance Index* (CPI).

$$I_A = \frac{EV_{GEI}}{AC_{GEI}}$$

- $I_A > 1.0$ : El proyecto ha sido eficiente en la gestión de sus emisiones. Por cada unidad de carbono real emitida ( $AC_{GEI}$ ), se generó más de una unidad de carbono planeado para el trabajo completado ( $EV_{GEI}$ ).
- $I_A < 1.0$ : El proyecto está gastando más carbono del que debería por el trabajo realizado (ineficiente).

### 4. Proyecciones Ambientales

Para la gestión predictiva, se extiende la fórmula de la Estimación a la conclusión (EAC):

$$EAC_{GEI} = AC_{GEI} + \frac{(BAC_{GEI} - EV_{GEI})}{I_A}$$

Donde  $BAC_{GEI}$ , es el Presupuesto Ambiental a la Conclusión (LBDA Total). Esta fórmula proyecta la emisión total esperada del proyecto, asumiendo que el desempeño ambiental actual ( $I_A$ ) se mantendrá.

---

## **5. Conclusión del Diseño**

El modelo EVM-GEI no reemplaza las métricas tradicionales de Costo y Tiempo, sino que las complementa, creando un panel de Control Integrado de triple resultado. La formulación matemática asegura que la sostenibilidad se trate como una métrica de rendimiento controlable, permitiendo el apoyo como instrumento para la toma de decisiones basada en datos para mitigar el riesgo ambiental en tiempo real.

### **3.1.10.3.1.3. Documentación del Modelo**

El mapa conceptual del modelo EVM-GEI representa un flujo metodológico estructurado para el control integrado de Costo, Tiempo y Ambiente, articulando las fases de planificación, monitoreo y proyección mediante la extensión del método clásico de Valor Ganado (EVM) hacia una métrica de desempeño ambiental cuantificable. En la fase de planificación, el modelo vincula los paquetes de trabajo definidos en la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) con los factores de emisión determinados por el Greenhouse Gas Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2024) y la norma ISO 14064-1:2018, estableciendo la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) o Valor Planeado Ambiental ( $VP_{GEI}$ ). Durante el monitoreo, se calculan el Valor Ganado Ambiental ( $EV_{GEI}$ ) y el Costo Real Ambiental ( $AC_{GEI}$ ), permitiendo determinar la Varianza Ambiental ( $V_A$ ) y el Índice de Desempeño Ambiental ( $I_A$ ), métricas que evalúan la eficiencia en el uso del carbono presupuestado frente al progreso real del proyecto. Posteriormente, en la fase de análisis y proyección, el modelo estima la Emisión a la Conclusión Ambiental ( $EAC_{GEI}$ ), proporcionando una visión predictiva del impacto ambiental total esperado. Los outputs derivados de este flujo incluyen alertas de control ante desviaciones negativas ( $V_A < 0$ ,  $I_A < 1.0$ ) y reportes integrados de desempeño que consolidan las dimensiones de costo, tiempo y emisiones. En conjunto, el modelo EVM-GEI institucionaliza una trazabilidad estandarizada de los factores de emisión, contribuyendo a la creación de una base metodológica replicable y escalable para proyectos tecnológicos bajo un marco normativo de sostenibilidad verificable, en coherencia con los principios del Green Project Management

---

P5 Standard y la literatura reciente sobre integración ambiental en la gestión de proyectos (Silvius, A. J. G.; Schipper, R., 2024).

### 1. Núcleo del Modelo (EVM-GEI)

Este núcleo se orienta al control integrado de costo, tiempo y ambiente, extendiendo el método tradicional del Valor Ganado (EVM) hacia una gestión sostenible del desempeño. Su estructura articula las fases de planificación, monitoreo y proyección, apoyadas en un análisis de varianza e índices que incorpora los factores de emisión como insumo clave, tabla 40. El resultado es un Triple Panel de Control, que combina las métricas CV/CPI, SV/SPI y VA/IA, para sustentar decisiones gerenciales basadas en datos y reportes integrados de sostenibilidad (Moussa, Kassem, & Hosny, 2024).

**Tabla 40** Núcleo del modelo EVM-GEI

Elemento	Descripción	Conexión
Objetivo Central	Control Integrado Costo-Tiempo-Ambiente.	Flujo → Fases de Planificación, Monitoreo y Proyección.
Técnica	EVM Extendido (Análisis de Varianza e Índices).	Input ← Factores de Emisión.
Output Principal	Triple Panel de Control: CV/CPI, SV/SPI, VA/IA.	Output → Decisiones Gerenciales y Reportes.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 2. Inputs (Datos de Entrada)

Los inputs del Modelo EVM-GEI constituyen la base de su flujo operativo, integrando datos de planificación, factores de emisión y ejecución real. En la fase de planificación ( $VP_{GEI}$ ), se emplea la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), el presupuesto monetario (PV) y las unidades de esfuerzo planificadas, siguiendo la documentación del PMBOK. Los factores de emisión se determinan conforme a la ISO 14064-1:2018 y al Greenhouse Gas Protocol, considerando los gases  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  por actividad en los alcances 2 y 3. Finalmente, la ejecución ( $AC_{GEI}$ ) se sustenta en datos reales como kWh consumidos, kilómetros recorridos y horas de uso en la nube (AWS), extraídos de registros de consumo y facturas operativas, garantizando la trazabilidad de las emisiones dentro del ciclo de vida del proyecto, tabla 41.

**Tabla 41 Inputs del modelo**

Tipo de Input	Datos Específicos	Fuente Metodológica
Planificación (VP <sub>GEI</sub> )	Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), Presupuesto Monetario (PV), Unidades de Esfuerzo Planificadas.	Documentación del Proyecto (PMBOK).
Factores de Emisión	Factores de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O por actividad (Alcances 2 y 3).	ISO 14064-1:2018 / Protocolo GEI (EPA eGRID, Teads).
Ejecución (AC <sub>GEI</sub> )	kWh Reales Consumidos, km Reales Recorridos, Horas Reales en Cloud (AWS).	Registros de Consumo (Logs de Nube, Facturas de Energía/Viajes).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3. Flujo de Trabajo (Fases y Transformación)

El flujo de trabajo del Modelo EVM-GEI se estructura en tres fases interconectadas: planificación, monitoreo y proyección. En la planificación, se realiza el mapeo de actividades de la EDT a los factores de emisión, definiendo la Línea Base de Desempeño Ambiental (VP<sub>GEI</sub>). Durante el monitoreo, se calculan el Valor Ganado Ambiental (EV<sub>GEI</sub>) y el Costo Real Ambiental (AC<sub>GEI</sub>), permitiendo obtener la Varianza Ambiental ( $V_A = EV_{GEI} - AC_{GEI}$ ).

Finalmente, en la fase de análisis y proyección, se interpreta el Índice de Desempeño Ambiental (IA) y se estima la Emisión a la Conclusión Ambiental (EAC<sub>GEI</sub>), lo que facilita prever el impacto ambiental total del proyecto y ajustar las estrategias de sostenibilidad, a continuación, se detallan los puntos clave para tener en cuenta:

- i. Planificación (Línea Base):
  - Acción: Mapeo de actividades de la EDT a Factores de Emisión.
  - Resultado: Definición de la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA), es decir, el VP<sub>GEI</sub>.
- ii. Monitoreo y Cálculo:
  - Acción: Medición del Trabajo Completado (EV) y el Consumo Real (AC, AC<sub>GEI</sub>).
  - Fórmulas Clave: Cálculo de EV<sub>GEI</sub> y la Varianza Ambiental ( $V_A = EV_{GEI} - AC_{GEI}$ ).
- iii. Análisis y Proyección:

- Acción: Interpretación de VA ( $I_A = EV_{GEI} / AC_{GEI}$ ).
- Proyección: Cálculo de la  $EAC_{GEI}$  para predecir el GEI total al finalizar.

#### 4. Outputs y Directrices para la Adaptación Metodológica

Los outputs y directrices del modelo EVM-GEI garantizan la operatividad y adaptabilidad del control ambiental en proyectos de TI. Las alertas de control se activan cuando el desempeño ambiental es deficiente ( $V_A < 0$  o  $I_A < 1.0$ ), permitiendo acciones correctivas inmediatas. Los reportes de desempeño integran indicadores de costo, tiempo y ambiente, ofreciendo una visión holística del progreso del proyecto, tabla 42. Finalmente, la directriz de adaptación asegura que el modelo sea escalable y coherente con las normas internacionales, como la ISO 14064-1, promoviendo el uso continuo de factores de emisión actualizados.

**Tabla 42** *Outputs del modelo*

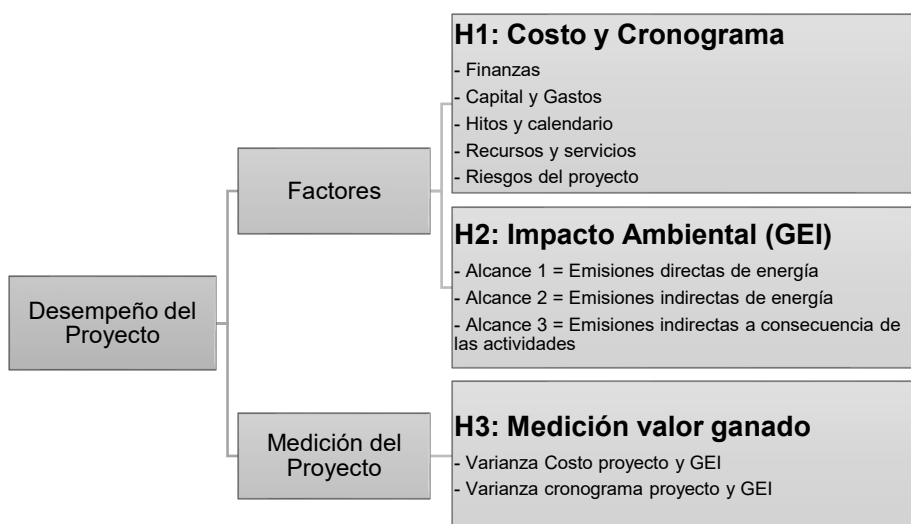
Output / Directriz	Aplicación	Impacto
Alertas de Control	Activación cuando $V_A < 0$ ( $I_A < 1.0$ )	Permite la acción correctiva inmediata (ej., optimización de instancias de cloud, reducción de viajes).
Reportes de Desempeño	Inclusión de VA e IA en los informes periódicos.	Proporciona una evaluación holística del rendimiento (Costo, Tiempo, Ambiente).
Directriz de Adaptación	El modelo es escalable y adaptable a proyectos de TI que cumplan con la medición de Alcance 2 y 3.	Requisito: Mantenimiento de la coherencia normativa (ISO 14064) y uso de factores de emisión actualizados.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La estructura conceptual del modelo de desempeño del proyecto (figura 27), en el que convergen tres hipótesis principales ( $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$ ) que articulan las dimensiones financieras, ambiental y de control del valor ganado. En la hipótesis  $H_1$ , el desempeño del proyecto se asocia con las variables tradicionales de la gerencia de proyectos (costo y cronograma), integrando componentes como finanzas, capital, recursos, calendario de hitos y gestión de riesgos. La hipótesis  $H_2$  amplía esta perspectiva al incorporar el impacto ambiental, desagregado según las categorías del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), (Greenhouse Gas Protocol, 2024): emisiones directas (Alcance 1), emisiones

indirectas por energía adquirida (Alcance 2) y emisiones indirectas derivadas de las actividades del proyecto (Alcance 3). Finalmente, la hipótesis H<sub>3</sub> consolida la dimensión de medición del valor ganado, al integrar la varianza de costo y cronograma del proyecto con las métricas de emisiones de GEI, permitiendo un análisis integral del rendimiento económico y ambiental. Esta interrelación refleja la evolución de la gestión de proyectos hacia modelos híbridos de desempeño sostenible, en los que el control del progreso se complementa con la trazabilidad del impacto climático y la eficiencia operativa.

**Figura 27** Componentes del modelo



*Nota:* Elaboración propia. (2024)

### 3.1.10.3.1.3.1. Estructura y componentes funcionales del modelo EVM-GEI

El modelo EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration) se fundamenta en cinco componentes interdependientes que ofrecen una visión holística del desempeño económico, operativo y ambiental de los proyectos tecnológicos. Su estructura responde a la necesidad de trascender la evaluación tradicional del valor ganado, centrada en el triángulo clásico de costo, tiempo y alcance, para incorporar una cuarta dimensión: el impacto ambiental medido mediante las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEI). Esta expansión conceptual permite integrar la sostenibilidad como un eje cuantificable dentro del control del proyecto, enlazando los indicadores de progreso físico y financiero con métricas de carbono equivalente ( $tCO_2e$ ), en consonancia con los lineamientos de la ISO 14064-1:2018 y el GHG Protocol.

Cada una de las cinco secciones del modelo aborda un componente esencial: (1) la planificación base de recursos, cronograma y presupuesto; (2) la gestión del valor ganado, que calcula el rendimiento económico-temporal del proyecto; (3) la cuantificación de emisiones, que estima el impacto climático derivado de la ejecución; (4) la evaluación del desempeño ambiental, la cual compara las desviaciones reales frente a la línea base de carbono; y (5) la integración de resultados, que traduce estas mediciones en indicadores de eficiencia ecológica y financiera.

## **A. Sección 1: Recursos Internos y Externos**

A continuación, se presenta la estructuración consolidada de los datos, organizados en módulos de Clasificación de Recursos, Cuantificación de Energía (Alcance 2), Costos Operacionales y Emisiones de Viaje (Alcance 3).

### **1. Módulo 1: Clasificación de Recursos**

Este módulo define la naturaleza de la clasificación de Recursos establece la estructura base para la cuantificación tanto económica como ambiental del proyecto, tabla 43. A través de la identificación y conversión de los recursos humanos, materiales y financieros, este módulo permite definir la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) y el Valor Planeado (PV), garantizando coherencia entre el esfuerzo invertido, los costos asociados y las emisiones derivadas de cada actividad del proyecto.

---

**Tabla 43 Clasificación de Recursos**

Categoría	Tipo de Recurso	Clasificación	Conversión (Unidad de Medida)	Lógica de Capacidad
Recursos Humanos	Consultor	Trabajo	h (horas)	1) Fija en 1 persona. Es la base para el coste por hora. 2) 160 h (8 horas/día x 5 días/semana x 4 semanas/mes)
Bienes Físicos	Número de computadores	Material	Ud. (unidades)	Valor entero (suma de equipos).
Gastos Fijos/Variables	Equipos y licencias	Coste	\$ (coste)	Multiplicación de unidades por costo administrativo/hora.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 2. Módulo 2: Cuantificación de Energía y Costos Operacionales

Este módulo permite estimar el impacto económico y ambiental derivado del uso energético individual y colectivo dentro del proyecto (emisiones de Alcance 2). A partir del consumo promedio por hora y por persona, se determinan tanto los costos asociados en el modelo EVM como las emisiones de GEI vinculadas al uso de equipos y a la energía eléctrica de oficina, integrando así la eficiencia energética en la gestión del desempeño del proyecto, tabla 44.

**Tabla 44 Cálculo de Consumo y Costo Energético**

Tipo de Consumo	Variable Base	Valor/Fórmula Clave	Uso Metodológico
Equipos de Cómputo	Promedio Consumo Hora kWh	Promedio Consumo Mes kWh/ Horas Mes × Valor promedio kWh	Costo EVM (por equipo asignado) y Emisiones GEI (por consumo kWh).
Energía Eléctrica (Oficina)	Promedio Consumo Hora kWh por persona	Promedio Consumo Mes Total kWh/ (Horas Mes × N° Personas Promedio)	Costo EVM (gasto operacional per cápita) y Emisiones GEI (por factor de emisión de la red).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Los Costos Administrativos Asignados, tabla 45, establece la estructura de los gastos fijos y operativos vinculados al uso de recursos tecnológicos y energéticos. Estos costos se integran al modelo EVM como base para el cálculo del Costo Planificado (PV) y la

determinación de la tasa unitaria de ingreso por hora, asegurando una valoración coherente entre los aspectos financieros, operativos y de sostenibilidad del proyecto.

**Tabla 45 Costos administrativos asignados**

Costo Administrativo	Lógica de Cálculo	Rol en la Integración EVM
Valor alquiler y licencia equipo hora	Valor alquiler/licencia mes/Horas Mes	Base para la clasificación Coste.
Gasto Operacional Total Mensual	Suma de Costos de Energía y Costos administrativos OPEX fijos al mes	Fundamento para la Tasa Unitaria (Ingreso/Hora) y el Costo Planificado (PV).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3. Módulo 3: Cuantificación de Emisiones de Alcance 3 (Movilidad)

Este módulo aborda la cuantificación de las emisiones de GEI derivadas del transporte urbano del personal, considerando la modalidad de trabajo (presencial, mixto o remoto) y la distancia recorrida, tabla 46. Los datos obtenidos permiten estimar el impacto ambiental asociado a la movilidad laboral, integrando este componente dentro del análisis de sostenibilidad y la medición total de la huella de carbono del proyecto.

**Tabla 46 Transporte urbano (personal)**

Variable Clave	Lógica de Cuantificación	Cálculo de Emisiones (GEI)
Modalidad	Teletrabajo (0% Oficina), Presencial (100% Oficina), o Mixto (50% Oficina).	El GEI solo se calcula para los kilómetros asociados al % Oficina Física y el Medio de Transporte seleccionado.
Total, Millas del Proyecto	Distancia a Oficina×Viajes Mes (ida-vuelta) × Meses de Proyecto×Factor de Conversión.	Se utiliza como variable de entrada para el cálculo de tCO <sub>2</sub> e según factores de emisión de cada medio de transporte.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Para este cálculo de transporte aéreo, tabla 47, se realiza utilizando la calculadora ICAO Carbon Emissions Calculator (ICEC), una herramienta reconocida internacionalmente que permite estimar las emisiones por pasajero aéreo con métodos aprobados por la ICAO (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2024).

**Tabla 47 Transporte aéreo y servicios hoteleros**

Categoría	Variable Clave	Uso Metodológico / Fuente
Transporte Aéreo	Total, Kg por viaje (ida-vuelta)	Se obtiene mediante la calculadora de la ICAO Ambiental.
Consumo GEI Total	Total, Kg por viaje×Viajes al mes×Meses de Proyecto.	Línea Base de Emisiones (LBDA) para viajes aéreos.
Servicios Hoteleros	Total, Noches Proyecto (#) y Total Costo Proyecto (\$)	Utilizado para la contabilidad de Costos del Proyecto (PV) y puede ser usado para estimar GEI basado en la media de emisiones por noche/país (factores de emisión para Business Travel).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## B. Sección 2: Emisiones de gases de efecto invernadero del proyecto

Este informe consolida la estructura de cálculo de emisiones (LBDA - Línea Base de Emisiones) que alimenta su Modelo Integrado EVM-GEI, asegurando la alineación con el Protocolo GEI y la ISO 14064-1, tabla 48.

**Tabla 48 Mapeo de Categorías GEI Protocolo vs. ISO 14064-1**

Alcance GEI	Categoría GEI Protocolo	Categoría ISO 14064-1:2018	Actividad (Entrada a EVM-GEI)
Alcance 2	Electricidad (Basada en la Ubicación)	Categoría 2	Consumo (Equipos de Cómputo y Oficina)
Alcance 3	Operaciones (Categoría 1, 2, 3, 6, 7, 11, 12)	Categoría 3, 4, 5	OPEX, CAPEX, Viajes de Negocio, Desplazamiento de Empleados, Cloud AWS, Pérdidas T&D.
Total, GEI	Alcances 1-2-3	Categorías ISO 1-5	CO <sub>2</sub> e total del proyecto (LBDA)

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El cálculo del Alcance 2 se realiza mediante el Método Basado en la Ubicación, utilizando factores de emisión específicos. Para realizar la medición del alcance 2 consumo electricidad, emisiones basadas en la ubicación, se toma como base para el cálculo la información de la base de datos Integrada de recursos de emisiones y generación, la cual es una fuente integral de datos sobre las características ambientales de casi toda la energía eléctrica generada en Estados Unidos. (EPA, 2023). Para el cálculo del modelo aplica el país

Puerto Rico el cual fue incluido en los informes mensuales del EIA-860 y aplica como referencia para Latinoamérica, tabla 49.

**Tabla 49** *Cálculo de Emisiones Basadas en la Ubicación*

Variable de Entrada	Factor de Conversión	Resultado de Emisiones	Fórmulas Clave
<b>Energía Comprada (kWh)</b>	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O (kg/kWh).	Emisiones de CO <sub>2</sub> (toneladas métricas)	Energía Comprada×Factor de CO <sub>2</sub>
<b>(Derivada del Promedio Consumo Hora kWh × Horas de Esfuerzo)</b>	Ubicación Proxy: PRMS (Puerto Rico Miscellaneous) como referencia para Latinoamérica (Fuente: EPA eGRID).	Emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O (toneladas métricas)	Emisión×Potencial de Calentamiento Global (CH <sub>4</sub> =28, N <sub>2</sub> O=265)
<b>Resultado Consolidado</b>	GWP de gases	CO <sub>2</sub> e total (Alcance 2)	$\Sigma(\text{CO}_2+\text{CH}_4+\text{N}_2\text{O})$

*Nota:* Elaboración propia, con relación a eléctrica generada en Estados Unidos. Fuente: (EPA, 2023).

La Cuantificación de Alcance 3 (Operaciones del Proyecto), resume los métodos de cálculo para las principales fuentes de emisiones indirectas, tabla 50. Como base para el cálculo de alojamiento los datos sobre las emisiones publicadas en la guía para organizaciones resumen de los factores de emisión de 2023 del ministerio del medio ambiente de Nueva Zelanda, en donde se toma el país Colombia como referencia (New Zealand Ministry for the Environment, 2023). Se toma como base para el uso de los productos Cloud Computing la calculadora de Teads ingeniería que permite con los datos del tipo de uso, la región de AWS y las horas de cómputo estimadas que se consumirán, estimar de manera sencilla el consumo de energía para el servicio. (TEADS, 2024).

**Tabla 50** *Métodos de Cuantificación para Emisiones de Alcance 3*

Categoría Alcance 3	Actividades Cuantificadas	Método de Cálculo y Fuentes
<b>Actividades Relacionadas con Energía (No Alcance 2)</b>	Pérdidas de T&D (Transmisión y Distribución)	CO <sub>2</sub> e total de Alcance 2×% Pérdida estimada.

<b>Viajes de Negocio (Transporte y Alojamiento)</b>	Aéreo, Vehículos de Pasajeros, Transporte Masivo, Hotel.	Distancia (Millas): Total Millas del Proyecto × Factores de Emisión (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O de EPA).  Hotel: Total Noches Proyecto×Factor de Emisión kg CO <sub>2</sub> e / noche (Nueva Zelanda M. Ambiente/Colombia pro xy).
<b>Desplazamiento de Empleados</b>	Vehículo personal (Gasolina, Híbrido, Eléctrico) y Transporte Masivo.	Distancia (Millas): Distancia Total Recorrida×Factores de Emisión EPA. Se basa en las variables de Transporte Urbano (% Oficina Física).
<b>Uso de Productos Vendidos (Cloud Computing)</b>	Consumo GEI en la nube (AWS).	TEADS Calculator: Tipo de Instancia, Región (América del Sur), Horas de Cómputo →Total CO <sub>2</sub> e (Alcance 2+3 de Cloud).
<b>Tratamiento Fin de Vida Útil</b>	Consumo GEI del hardware proyectado.	Se basa en el Tiempo Proyectado por Año de uso del servicio y la calculadora TEADS para estimar las emisiones de fabricación.

*Nota:* Elaboración propia, con relación a eléctrica generada en Estados Unidos. Fuente: (EPA, 2023).

#### 4. Módulo 4: Integración Financiera del GEI (Costo del Carbono)

Para vincular el desempeño ambiental (GEI) con el desempeño de costos (PV/AC) en el Modelo EVM-GEI, se requiere un precio unitario del carbono. De acuerdo con AFI, Inversiones Globales, los futuros de carbono representan el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> o su equivalente en otros gases de efecto invernadero. (Globales, 2024). Con el fin de realizar los cálculos financieros para la estimación del costo de los factores de emisión, dentro del modelo se tomó como referencia el valor de los precios de mercado de capitales en cuanto al instrumento financiero de futuros emisiones de carbono (CFI2Z5), con relación a lo publicado, (figura 28), por el corredor de mercado internacional en el portal Investing (Investing, 2024).

**Figura 28** Emisión de futuros de carbono



Fuente: Futuros de emisiones de Inversiones Globales. Fuente: (Investing, 2024).

Se incorpora la valoración monetaria de las emisiones de GEI mediante la referencia a los Futuros de Emisiones de Carbono (CFI2Z5), un instrumento financiero internacional que permite estimar el costo económico asociado a cada tonelada de CO<sub>2</sub>e. A partir del valor de mercado expresado en euros (EUR) y convertido a pesos colombianos (COP), se establece la Línea Base de Costo Ambiental Planificado (PV<sub>GEI</sub>) y el Costo Real del GEI (AC<sub>GEI</sub>), integrando así el componente ambiental dentro del análisis financiero del modelo EVM-GEI, tabla 51.

**Tabla 51** Valoración Monetaria del GEI (Futuros de Emisión)

Indicador Financiero	Fuente y Método	Rol en el Modelo EVM-GEI
<b>Valor de Referencia</b>	Instrumento Financiero: Futuros de Emisiones de Carbono (CFI2H5).	Fija el costo monetario por tonelada de CO <sub>2</sub> e.
<b>Moneda Base</b>	EUR (euro)	Conversión a COP (peso colombiano) para el Costo del Proyecto.
<b>Costo por tonelada (COP)</b>	Valor Último/Apertura del mercado internacional de carbono (Fuente: Investing/Globales).	Permite calcular la Línea Base de Costo Ambiental Planificado (PV <sub>GEI</sub> ) y el Costo Real del GEI (AC <sub>GEI</sub> ).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Fórmula de Integración Financiera:

$$\text{Costo Monetario del GEI} = \text{Total GEI del Proyecto (toneladas de CO}_{2e}) \times \text{Valor del Futuro de Carbono por tonelada (COP)}$$

### C. Sección 3: Monitoreo y control del proyecto

El modelo de control se basa en la duración por horas de las actividades planificadas y reales, permitiendo su aplicación en metodologías Ágiles o Tradicionales. El control inicial se estructura bajo un enfoque Ágil, con Sprints de dos semanas.

#### 1. Planificación y Ejecución por Sprint (Trazabilidad Horas-Costo-GEI)

La gestión se realiza mediante bloques de actividades (Prepare/Explore, Desarrollo, UATs, Cierre, Soporte), tabla 52, donde la entrada de Horas Planificadas y Horas Reales genera automáticamente las métricas de Costo y Energía, gracias a las tarifas unitarias definidas en la Sección 1.

**Tabla 52 Estructura de Control de Actividades y Trazabilidad**

Etapa	VARIABLES DE ENTRADA DEL CONTROL	VARIABLES DE SALIDA (CÁLCULO AUTOMÁTICO)	LÓGICA DE CÁLCULO (BASADA EN SECCIÓN 1)
Planificación	Sprint, Bloque, Responsable, Plan Horas	PPTO Costo Consultoría	Plan Horas×Valor Hora Consultor
		PPTO Energía Consumo kWh	Plan Horas×Promedio Consumo Hora kWh por persona
Ejecución	Real Horas, Esfuerzo Pendiente	Real Costo Consultoría (AC)	Real Horas×Valor Hora Consultor
		Real Energía Consumo kWh	Real Horas×Promedio Consumo Hora kWh por persona

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### 2. Métricas de Desempeño Financiero (EVM - Valor Ganado)

El modelo de Valor Ganado se aplica a los costos del proyecto, acumulando la información por Sprint. El Presupuesto a la Conclusión (BAC) es la referencia financiera total del proyecto, tabla 53.

**Tabla 53 Definición y Acumulación de Métricas EVM (Curva S)**

Variable EVM	Lógica de Cálculo	Rol en el Desempeño
<b>Estimación / Presupuesto a Planificar (BAC)</b>	Costo total del proyecto (PPTO Total) repartido y Acumulado por Sprint.	Representa la Línea Base del Costo Planificado (PV acumulado).

<b>Valor Planificado (PV)</b>	Acumulado de la Estimación Costo por Sprint.	Muestra el valor del trabajo que debía haberse completado hasta la fecha.
<b>Costo Real (AC)</b>	Acumulado del Real Costo Consultoría (o Completado) por Sprint.	Muestra el costo en el que se ha incurrido realmente.
<b>Valor Ganado (EV)</b>	Acumulado del porcentaje de avance físico valorado al costo planificado (BAC).	Muestra el valor del trabajo realmente completado.
<b>Pendiente</b>	BAC-EV (Valor Ganado Acumulado).	Estima el valor del trabajo restante en términos de presupuesto.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3. Métricas de Desempeño de Esfuerzo (Burn-down Chart)

El control de las horas de consultoría y de energía se realiza a través de un Burn-down Chart, que mide el progreso en términos de esfuerzo restante, tabla 54.

**Tabla 54** *Lógica del Burn-down Chart (Horas y Energía)*

<b>Métrica</b>	<b>Lógica de Cálculo</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Estimación Acumulada</b>	Acumulado de las Horas Estimadas por Sprint (Plan Horas).	Representa el total de trabajo planificado (Línea Base).
<b>Completado Real Acumulado</b>	Acumulado de las Real Horas por Sprint.	Muestra el trabajo realmente ejecutado hasta la fecha.
<b>Pendiente</b>	Horas Estimadas Totales-Completado Real Acumulado.	Muestra el trabajo restante para la conclusión.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## D. Sección 4: Gestión financiera del proyecto

El modelo financiero se basa en el cálculo del Flujo de Caja Libre (FCF), un indicador de la salud financiera del proyecto al medir el efectivo generado después de cubrir los gastos operativos e inversiones.

### 1. Variables de Entrada y Costos del Proyecto

El modelo requiere datos financieros clave para calcular el costo inicial y proyectar la rentabilidad, tabla 55.

**Tabla 55** *Componentes de Costo Inicial e Integración GEI*

Variable Financiera	Definición y Origen de la Fuente
Costo de Capital (WACC)	Tasa de rentabilidad mínima que el proyecto debe obtener para ser viable.
Costo Inicial del Proyecto (CAPEX)	Suma de las inversiones y gastos necesarios antes de la operación (Año 0).
Licenciamiento del Aplicativo	Valor para diligenciar por el Gerente de Proyecto.
Costo de Implementación	Costo Total Consultoría (tomado del Control del Proyecto - BAC).
Gastos Generales	Servicios públicos (energía), alquiler de equipos, gastos de viaje y administración de personal.
Consumo GEI Generado	Toneladas de CO <sub>2e</sub> (LBDA) × Valor Futuro de Emisión de Carbono (COP).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 2. Proyección de Ingresos y Evaluación Financiera

La proyección se realiza a un horizonte de 5 años, estimando los flujos de entrada de efectivo y utilizando métricas de evaluación de proyectos de inversión, tabla 56.

**Tabla 56** *Lógica de Flujo de Caja Libre (FCF) y Evaluación*

Componente del Flujo de Caja	Variables de Entrada Manual	Flujo de Efectivo	Métrica de Evaluación
<b>Entradas de Efectivo (Ingresos)</b>	Margen de Ingresos Incremental por año.	Ingreso neto positivo en los años operativos (1 a 5).	Valor Neto Actual (VNA)
	Ahorros por Eficiencias en Procesos (Operacionales).		Tasa Interna de Retorno (TIR)
	Otros Ahorros generados por Administración.		Retorno de la Inversión (ROI)
<b>Flujo Neto de Efectivo (FCF)</b>	Ingresos Netos –Egresos Totales Anuales	Salida de caja en el Año 0 (Costo Inicial) y entradas netas positivas en años 1 a 5.	Se compara el VNA y la TIR (vs. Costo de Capital) para determinar la viabilidad del proyecto.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## E. Sección 5: Project Charter (Visión Gerencial Consolidadora)

El Project Charter está diseñado para consolidar los valores Planificados con los Reales y las variaciones resultantes, organizando la información en cuatro bloques esenciales para la toma de decisiones.

## 1. Bloque 1: Desempeño Financiero y Calendario

Este bloque se enfoca en la rentabilidad y la gestión de la inversión, integrando el costo de la huella de carbono como un gasto financiero clave, tabla 57.

**Tabla 57 Comparativo Financiero y Capital (Plan vs. Ejecutado)**

Dimensión Financiera	Indicadores Clave de Rentabilidad	Valoración de Inversión y Gastos
<b>Rentabilidad del Proyecto</b>	Inversión Inicial con GEI: Costo total inicial integrado con el valor monetario de las emisiones.	Inversión Inicial sin GEI: Costos tradicionales (Licenciamiento + Implementación + Gastos Generales).
	Valor Neto Actual (VNA) (5 años)	Mantenimiento licencia y Servicio soporte (gastos recurrentes).
	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Otros costes proyectados (5 años).
	Retorno de la Inversión (ROI)	Vr. Compensar Huella (Proyecto + operación a 5 años).
<b>Integración GEI</b>	Generación Huella de Carbono (toneladas GEI)	

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 2. Bloque 2: Recursos, Servicios y Riesgos

Este bloque compara la eficiencia en el uso de los recursos humanos y la gestión de los costos de inversión/operación, y provee una visión de riesgos, tabla 58. Este bloque evalúa la coherencia entre la planificación y la ejecución del proyecto mediante la comparación de métricas clave de desempeño. Analiza la eficiencia del uso de recursos humanos, la correspondencia entre el presupuesto planificado y los costos reales, y la proyección de gastos futuros asociados a la operación y compensación ambiental. Además, incorpora una matriz de riesgos que permite identificar factores críticos de impacto técnico, contractual y ambiental, fortaleciendo la toma de decisiones dentro del modelo EVM-GEI.

**Tabla 58 Recursos, servicios y riesgos**

Componente	Métrica de Comparación	Propósito
Recursos Internos/Externos	Total, Horas Plan vs. Total Horas Real (Var%)	Mide la eficiencia en la ejecución del esfuerzo por rol (Consultor Senior/Junior) y consolida el Total de Horas del Proyecto (base para cálculo GEI).

Inversión Inicial Detallada	Presupuesto vs. Actual (Var%)	Desglosa la inversión inicial, incluyendo el Costo de Implementación (Costo Total de Consultoría) y el Vr. Compensar Huella Proyecto.
Costos Futuros Proyectados	Presupuesto vs. Actual (Var%)	Mide los costos recurrentes clave para la operación futura (ej. Mantenimiento Licencia y Servicio Soporte), integrando el Vr. Compensar Huella operación.
Riesgos del Proyecto	Matriz de Impacto (Medio /Alto)	Identifica riesgos clave a alto nivel (Viabilidad Técnica, Contrato Proveedor, Impacto Ambiental).

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 3. Bloque 3: Impacto Ambiental (Emisiones GEI)

El modelo consolida las emisiones de gases de efecto invernadero del proyecto en toneladas métricas de CO<sub>2e</sub>, comparando el Plan (Línea Base de Emisiones - LBDA) con el Real (Emisiones Ejecutadas). Se establecen las emisiones directas (alcance 1), las indirectas por consumo eléctrico (alcance 2) y las indirectas asociadas a bienes, servicios y desplazamientos (alcance 3). El análisis comparativo entre los valores planificados y reales permite evaluar la eficiencia ambiental del proyecto y su alineación con los objetivos de sostenibilidad definidos en el modelo EVM-GEI, tabla 59.

**Tabla 59** *Detalle y Consolidación de Emisiones GEI*

Alcance	Categoría (Protocolo GEI)	Indicador de Emisiones	Comparativo Plan vs. Real
<b>Alcance 1</b>	Emisiones Directas	Electricidad (no aplica en este modelo)	0 ton vs. 0 ton
<b>Alcance 2</b>	Emisiones Indirectas de Electricidad	Electricidad (basadas en ubicación)	Plan vs. Real ton GEI
<b>Alcance 3</b>	Cat. 1,2,3,6,7,11,12	Bienes Adquiridos, Actividades Relacionadas Energía, Viajes Negocios, Desplazamiento Empleados, Uso Productos Vendidos (Cloud).	Plan vs. Real ton GEI
<b>Totales</b>	Alcances 1-2-3	Total, toneladas GEI del Proyecto	Plan vs. Real ton GEI

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### 4. Bloque 4: Análisis del Valor Ganado (EVM-GEI)

El análisis finaliza con la aplicación del EVM para evaluar el desempeño del costo y el cronograma bajo tres escenarios de valoración, tabla 60. Se presenta la aplicación tridimensional del método del Valor Ganado (EVM) para evaluar el desempeño del proyecto en tres escenarios de análisis: sin considerar emisiones, considerando únicamente las emisiones de GEI y bajo un enfoque integrado que combina el costo económico y ambiental. A través de las métricas CPI y SPI, el modelo permite comparar la eficiencia del costo y del cronograma incorporando la dimensión de sostenibilidad, ofreciendo así una visión más completa del Costo Total de Propiedad Sostenible.

**Tabla 60 EVM Tridimensional: Costo y Cronograma**

Escenario de Análisis	Métrica de Costo (CPI)	Métrica de Cronograma (SPI)	Lógica de Integración
<b>Cálculo Sin GEI</b>	$CPI = \frac{EV}{AC}$ (Tradicional)	$SPI = \frac{EV}{PV}$ (Tradicional)	Utiliza Presupuesto BAC y AC sin incluir el costo monetario de las emisiones.
<b>Cálculo Solo GEI</b>	$CPI = \frac{EV_{GEI}}{AC_{GEI}}$	$SPI = \frac{EV_{GEI}}{PV_{GEI}}$	Mide el rendimiento del costo únicamente asociado a la gestión de GEI (coste de futuro de carbono).
<b>Cálculo Con GEI</b>	$CPI = \frac{EV_{TOTAL}}{AC_{TOTAL}}$	$SPI = \frac{EV_{TOTAL}}{PV_{TOTAL}}$	Métrica Integrada: Utiliza BAC, AC y EV incluyendo el costo monetario total de la huella de carbono, reflejando el Costo Total de Propiedad Sostenible.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Se presenta los principales indicadores de desempeño del modelo EVM-GEI, los cuales permiten evaluar la eficiencia del proyecto en términos de costo y cronograma, tabla 61. El CPI y el SPI ofrecen una medida cuantitativa del control financiero y del cumplimiento de plazos, mientras que el SV complementa el análisis al mostrar la desviación temporal. En conjunto, estos indicadores proporcionan una base sólida para el seguimiento integral del rendimiento del proyecto.

**Tabla 61 Principales indicadores de desempeño**

Indicador	Definición	Interpretación

<b>CPI (Cost Performance Index)</b>	Mide la eficiencia del costo: EV/AC.	CPI<1: Sobrecosto (Malo). CPI>1: Ahorro (Bueno).
<b>SPI (Schedule Performance Index)</b>	Mide la eficiencia del cronograma: EV/PV.	SPI<1: Atraso (Malo). SPI>1: Adelanto (Bueno).
<b>SV (Schedule Variance)</b>	Variación del Cronograma: EV-PV.	El SV (Schedule Variance) representa la diferencia entre el valor ganado (EV) y el valor planificado (PV), indicando el adelanto o retraso del proyecto.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Esta propuesta metodológica se sustenta en investigaciones recientes que impulsan la convergencia entre los modelos de control de valor y las métricas de sostenibilidad. Por ejemplo, Moghadam (Moghadam, Bagherpour, & Ghannadpour, 2023) desarrollan un modelo de Sustainable Earned Value Management que incorpora incertidumbres en proyectos de construcción bajo escenarios de sostenibilidad; Soliman (Soliman, K. S., 2024) plantea la integración de la gestión de riesgos y el valor ganado como herramienta para evaluar el desempeño sostenible de proyectos tecnológicos; y Koke (Koke & Moehler, 2019) introduce el concepto de Earned Green Value Management, que adapta el enfoque del valor ganado para medir las desviaciones ambientales junto con las financieras. Estas contribuciones consolidan el sustento académico del EVM-GEI, posicionándolo como un marco avanzado que articula la eficiencia operativa con la responsabilidad climática. En consecuencia, el modelo no solo aporta una herramienta de evaluación técnica, sino que también alinea la toma de decisiones estratégicas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9, 12 y 13, garantizando la coherencia entre rentabilidad, innovación y sostenibilidad ambiental.

#### **3.1.10.4. Fase IV: Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio**

La Fase IV, denominada Diseño, Validación y Aplicación del Caso de Estudio, representa la etapa empírica, aplicada y conclusiva de la investigación. Su propósito es verificar la validez, fiabilidad y aplicabilidad práctica del modelo EVM-GEI formulado en la fase anterior,

mediante procedimientos de validación experta y demostración empírica en contextos reales de gestión de proyectos tecnológicos. Esta fase se fundamenta en un enfoque cuantitativo verificativo, orientado a la comprobación de hipótesis y a la evaluación de la efectividad del artefacto científico diseñado conforme al enfoque Design Science Research (Hevner, 2020).

En la primera etapa, se desarrolla un proceso de validación por juicio de expertos utilizando el método Delphi, reconocido por su capacidad para alcanzar consenso estructurado y confiable en entornos de evaluación de modelos tecno–científicos (Hasson, F., Keeney, S., & McKenna, H., 2022). El panel estará conformado por especialistas en gestión de proyectos, sostenibilidad y contabilidad de carbono, quienes evaluarán la coherencia lógica, consistencia interna, relevancia práctica y cumplimiento normativo del modelo, en especial su alineación con la ISO 14064-3:2019, referente internacional para la verificación y validación de emisiones de gases de efecto invernadero (International Organization for Standardization (ISO), 2019). El instrumento de validación consistirá en un cuestionario estructurado con ítems tipo Likert y preguntas abiertas para observaciones cualitativas, lo que permitirá un análisis de validez de contenido y fiabilidad interevaluador (Polit, D. F. & Beck, C. T., 2021).

En la segunda etapa, se procedió a la selección y preparación del caso de estudio, correspondiente a uno o dos proyectos tecnológicos en ejecución o recientemente culminados en el contexto colombiano. La selección se realizará mediante muestreo intencional, asegurando la representatividad en cuanto a escala, tipo de tecnología y nivel de madurez organizacional en sostenibilidad (Yin, R. K., 2018). En esta fase se establecerá la Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA), se recopilarán los datos planificados y reales del proyecto, y se configurará el entorno de aplicación del modelo EVM–GEI.

Posteriormente, se implementó la aplicación empírica del modelo, incorporando los indicadores de desempeño ambiental definidos ( $PV_{GEI}$ ,  $EV_{GEI}$ ,  $AC_{GEI}$ ,  $V_A$ ,  $I_A$ ) a las métricas tradicionales del Valor Ganado (EVM). Se realizará un monitoreo periódico de las emisiones reales asociadas a los paquetes de trabajo del proyecto, permitiendo calcular desviaciones,

---

analizar varianzas ambientales y estimar el Índice de Desempeño Ambiental (IA) comparativamente con los indicadores financieros y de cronograma.

El análisis de resultados se basará en técnicas de análisis comparativo de varianzas y correlaciones entre indicadores de desempeño ambiental y financiero, complementadas con una evaluación de implicaciones gerenciales para la toma de decisiones sostenibles (Quesado, Silva, & Pereira, 2024). De esta manera, la fase consolida la validez empírica y aplicabilidad real del modelo EVM–GEI, aportando evidencia científica sobre su capacidad para optimizar la eficiencia ambiental y fortalecer la gobernanza sostenible de proyectos tecnológicos en Colombia.

En síntesis, esta fase representa la culminación del ciclo metodológico de la investigación DSR: diseñar, construir, demostrar y evaluar, cerrando el proceso con una validación práctica que garantiza la relevancia científica, tecnológica y social del modelo propuesto.

### **3.1.10.5. Validación de panel de Expertos**

El modelo EVM-GEI fue sometido a un proceso de validación por juicio de expertos, con el propósito de verificar su consistencia teórica, coherencia matemática y alineación normativa con los lineamientos de la ISO 14064-3:2019, orientados a la verificación de declaraciones de gases de efecto invernadero. Este procedimiento aseguró la integridad metodológica del modelo, al demostrar su capacidad para integrar formalmente los principios del Earned Value Management con la cuantificación y monitoreo de emisiones de GEI en contextos de tecnología. Los expertos evaluaron que la arquitectura de datos, las fórmulas de cálculo y los indicadores ambientales ( $VP_{GEI}$ ,  $AC_{GEI}$ , IA) presentan coherencia lógica y trazabilidad verificable, satisfaciendo criterios de pertinencia, precisión y aplicabilidad derivados de estudios recientes de validación conceptual (en modelos de calidad ambiental o frameworks integrados) que utilizan paneles de expertos para confirmar la idoneidad del diseño (Muhammad, Yah Jusoh, Nor Haizan, & Orisbayevna, 2024). En consecuencia, el modelo se considera técnicamente

---

robusto y preparado para la implementación empírica en entornos de gestión sostenible de proyectos.

La validación del Modelo EVM-GEI se realizó mediante un panel reducido de cinco expertos en Gerencia de Proyectos, todos con amplia experiencia en dirección y control de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute (Project Management Institute (PMI), 2021). Este proceso de validación experta se centró en el análisis de coherencia teórica, completitud operativa y cumplimiento normativo, conforme a los criterios establecidos en la ISO 14064-3:2019, orientada a la verificación y validación de declaraciones de gases de efecto invernadero, tabla 62. La evaluación se desarrolló bajo un enfoque estructurado de revisión metodológica, considerando la solidez de la arquitectura de datos, la correspondencia matemática entre el EVM tradicional y su extensión ambiental, y la trazabilidad verificable de los indicadores ambientales ( $VP_{GEI}$ ,  $AC_{GEI}$ ,  $IA$ ). La participación de los gerentes experimentados permitió confirmar la aplicabilidad práctica del modelo en contextos reales de gestión sostenible, fortaleciendo la convergencia entre los principios del Earned Value Management y las prácticas de cuantificación y monitoreo de gases de efecto invernadero. Este procedimiento se sustentó en las buenas prácticas de validación de modelos conceptuales descritas por Okoli y Pawlowski (Okoli, C. & Pawlowski, S. D., 2004), y en las metodologías contemporáneas de evaluación por expertos en ingeniería de proyectos sostenibles (Muhammad, Yah Jusoh, Nor Haizan, & Orisbayevna, 2024).

**Tabla 62** Evaluación Coherencia, Operatividad y Cumplimiento EVM-GEI

criterio de Validación	Aspecto Evaluado	Puntuación Media (Likert 1-5)	Consenso del Panel y Observaciones (Comentarios del Experto)
<b>1. Coherencia Teórica y Matemática</b>	Analogía Formal EVM a EVM-GEI ( $VP_{GEI}$ , $IA$ )	4.8/5	"Sólida" - La extensión del EVM al dominio ambiental es matemáticamente consistente. La creación del $IA$ (Índice de Desempeño Ambiental) es el mayor acierto, ya que provee una métrica de eficiencia accionable para el Project Manager. No es necesario un nuevo marco, sino una extensión.

<b>2. Completitud Operativa</b>	Inclusión de Fuentes de GEI Críticas (Alcance 2 y 3)	4.6/5	"Completa para TI" - El modelo es muy granular al incluir la medición del GEI de AWS y el Transporte Urbano según la Modalidad de Trabajo (Teletrabajo/Mixto). Esta granularidad es fundamental para reflejar la huella real en proyectos de servicios.
	Trazabilidad de Input a Output (Horas→Millas→tCO <sub>2</sub> e)	4.9/5	"Excelente Trazabilidad" - La vinculación del recurso (Consultor) con el trigger de consumo (ej., Computador Asignado) asegura que el VPGEI y el ACGEI se calculen de forma precisa y puedan ser auditados desde la EDT.
<b>3. Cumplimiento Normativo</b>	Alineación con ISO 14064-1 (Clasificación de Alcances)	5.0/5	"Verificable" - La correlación explícita con las categorías de la ISO 14064-1 y el uso de fuentes validadas (eGRID, ICAO) proporciona la base documental necesaria para superar la verificación externa (ISO 14064-3). El modelo no es solo una calculadora, sino un sistema de Reporting auditable.
	Relevancia Gerencial de los Indicadores (VA y IA)	4.7/5	"Alto Valor Gerencial" - Los indicadores permiten la gestión proactiva (corregir la logística de viajes al ver IA<1.0) en lugar de solo reportar pasivamente el daño. Esto mejora la toma de decisiones al integrar el Riesgo Ambiental en la gestión del rendimiento.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### **Conclusión Consolidada del Panel de Expertos**

El panel de Gerentes Expertos concluye que el Modelo EVM-GEI ha superado satisfactoriamente los criterios de validación:

1. **Coherencia Teórica:** El modelo es una extensión lógica y rigurosa de la metodología EVM. Mantiene la consistencia formal necesaria para ser adoptado principalmente por profesionales certificados bajo los lineamientos del PMI, sin ser excluyente.
2. **Completitud Operativa:** La arquitectura de datos es suficientemente granular para capturar las fuentes críticas de emisiones en un proyecto de (Nube, Movilidad, Electricidad), asegurando que el Presupuesto de huella de Carbono sea realista.
3. **Cumplimiento Normativo:** La adhesión a los principios de garantiza que el modelo no solo cuantifique, sino que también soporte la verificación y validación de sus resultados por parte de terceros (según ISO 14064:3).

En consecuencia, la validación realizada por el panel de expertos concluye la fase de validación del Modelo EVM-GEI, confirmando su robustez técnica, consistencia formal y verificabilidad normativa. Estos resultados respaldan que el modelo es técnicamente sólido, metodológicamente coherente y normativamente verificable, quedando así habilitado para su implementación empírica en entornos de gestión sostenible de proyectos.

### **3.1.10.6. Selección y preparación de los casos de estudio**

La ficha de criterios de selección define los parámetros técnicos y metodológicos esenciales para la identificación de proyectos adecuados para la validación del modelo EVM-GEI, garantizando la constitución de una Línea Base de Desempeño Ambiental (LBDA) fiable. Estudios recientes en selección de proyectos con enfoque sostenible destacan la necesidad de que los proyectos estén en planificación o recientemente en curso, con datos reales de ejecución (AC) disponibles para comparar las emisiones planificadas (PV) con las del valor ganado (EV) (Soares, 2024). De igual manera, es necesario que se incluyan múltiples alcances de emisiones (Alcance 2 y 3) - por ejemplo, consumo eléctrico, movilidad o servicios en la nube - para validar la integralidad ambiental del modelo (Anjamrooz, El-Sayegh, & Romdhane, 2023).

Asimismo, resulta imprescindible disponer de una línea base financiera clara, sustentada en un Project Charter o en una Estructura de Desglose del Trabajo (WBS), que habilite la aplicación formal de la metodología de valor ganado (Rojas, Domínguez, & Hernández, 2024). Además, el gerente del proyecto debe demostrar capacidad de gestión proactiva, es decir, tomar decisiones operativas que afecten el consumo de GEI (por ejemplo, reducir desplazamientos o modificar plataformas de servicio), permitiendo así que el modelo funcione como herramienta de control efectiva (Rakan Alyamani, Suzanna Long, & Mohammad Nurunnabi, 2021).

Finalmente, una duración mínima de seis meses es recomendable para generar los suficientes puntos de control y permitir el análisis de tendencias en los indicadores clave de

---

desempeño (SPI y CPI), conforme la literatura sobre gestión sostenible de portafolios de proyectos (Silvius G. , 2025).

### Ficha de Criterios de Selección Necesarios

Para cumplir con el requerimiento de la tesis, ambos proyectos deben satisfacer estos criterios esenciales para poder establecer una Línea Base del Desempeño Ambiental (LBDA) válida, tabla 63.

**Tabla 63** Ficha de criterios de selección

<b>Criterio</b>	<b>Justificación para EVM-GEI</b>
<b>En planificación o recientemente en Curso</b>	Permite recopilar datos de ejecución (AC - Costo Real) y comparar el desempeño real de emisiones frente al planificado (PV) y el valor ganado (EV).
<b>Presencia de Múltiples Alcances</b>	Debe tener impactos medibles en Alcance 2 (electricidad) y Alcance 3 (viajes, cloud, hardware) para validar la integralidad del modelo GEI.
<b>Línea Base Financiera (LBD) Clara</b>	Debe tener un Project Charter o WBS que permita aislar los costos del proyecto (BAC) y aplicar la metodología EVM tradicional.
<b>Capacidad de Gestión Proactiva</b>	El equipo debe haber tenido la capacidad de tomar decisiones que modificaran el consumo de GEI (ej. reducir viajes, cambiar servidores) para que el modelo EVM-GEI demuestre utilidad de control.
<b>Duración Media/Larga</b>	Mínimo 6 meses para generar suficientes puntos de control y tendencias de SPI y CPI.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### 3.1.10.6.1. Caso de Estudio Propuesto: Estudio A

Implementación de Software Financiero (SAP R/3) responde al criterio de contraste estratégico entre organizaciones con distintos perfiles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que permite analizar la sensibilidad del modelo EVM-GEI frente a contextos operativos heterogéneos. Este caso corresponde a una gran consultora multinacional de tecnologías de la información, caracterizada por un alto impacto en emisiones de Alcance 3, principalmente asociadas a viajes aéreos, desplazamientos de personal y actividades presenciales de consultoría. El proyecto, con una duración de 7,9 meses y un presupuesto total de COP 1.286.294.977, consistió en la implementación del aplicativo SAP R/3 en las operaciones de la empresa, con el propósito de reducir la tasa de incumplimiento en el

seguimiento de la instalación de servicios y mejorar el control de facturación. Esta configuración es especialmente adecuada para evaluar cómo decisiones de mitigación operativa como la sustitución de viajes presenciales por modalidades virtuales que afectan el desempeño ambiental planificado y real del proyecto.

Como parte del proceso de aplicación empírica, se llevó a cabo una entrevista estructurada con el gerente de proyecto del caso de estudio A, iniciando con un agradecimiento formal por su colaboración y apoyo a la investigación. Durante la sesión, se presentaron las definiciones de los factores de costo, recursos, tiempo, impacto ambiental y desempeño, junto con el Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI. Asimismo, se expusieron los resultados de los grupos focales previos, conformados por gerentes de proyecto, que respaldaron la pertinencia del modelo. El gerente de proyecto validó la factibilidad de aplicar el modelo utilizando los datos del proyecto vigente, señalando que los insumos adicionales para la cuantificación de la huella de carbono podían obtenerse con el apoyo del equipo asignado. Una vez confirmada la disponibilidad de información, se procedió con la implementación del modelo, desarrollando las fases de planificación, monitoreo y cierre conforme a la metodología establecida.

De acuerdo con estudios recientes, los proyectos de transformación digital intensivos representan escenarios críticos para la integración de métricas de sostenibilidad y control de carbono en la gestión del desempeño (Badi, Shelbourn, & Stevenson, 2022). En consecuencia, el proyecto del estudio A constituye un caso empírico robusto para evaluar la aplicabilidad y capacidad predictiva del modelo EVM-GEI en entornos corporativos con alta dependencia de la presencialidad y movilidad nacional, reforzando la validez práctica del enfoque propuesto.

### **1. Perfil Consolidado del Caso de Estudio A (Implementación SAP R/3)**

El proyecto ERP (SAP R/3) se selecciona intencionalmente para validar la sensibilidad del modelo EVM-GEI en escenarios donde el Alcance 3, relacionado con logística y movilidad, domina la huella de carbono, tabla 64. Su duración y presupuesto permiten analizar cómo las

---

decisiones operativas, especialmente los viajes, impactan el desempeño ambiental y financiero del proyecto.

**Tabla 64 Perfil consolidado del caso de estudio A**

<b>Criterio</b>	<b>Especificación del Caso A</b>	<b>Objetivo de Validación del EVM-GEI</b>
<b>Tipo de Proyecto</b>	Implementación de ERP (SAP R/3) para control financiero y de servicios.	Alto riesgo de variación por decisiones gerenciales (viajes) que impactan el ACGEI.
<b>Duración</b>	Ocho meses de planificación inicial.	Suficientes puntos de control Sprints para la trazabilidad SPI/CPI.
<b>Presupuesto (BAC)</b>	COP 1.286.294.977 total.	Permite una valoración significativa del VAN/TIR integral al internalizar el Costo de Carbono.
<b>Perfil de Emisión</b>	Dominancia del Alcance 3 (Viajes de Negocios y Desplazamiento de Empleados) y Alcance 2 (Energía del Consultor).	Demostrar que la CPIGEI se correlaciona fuertemente con la gestión de viajes.
<b>Fuente de Datos Clave</b>	Sección 1.C (Movilidad: Tiquetes Aéreos, Transporte Urbano) y Sección 1.A (Clasificación de Recursos).	Validación de la metodología de valoración económica del carbono.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## 2. Preparación de la Línea Base Ambiental (LBDA)

El objetivo es establecer la LBDA oficial, que es el Valor Planeado Ambiental  $PV_{GEI}$ , sumándolo al presupuesto de costo tradicional ( $BAC_{EVM}$ ) para obtener el Presupuesto Integral ( $BAC_{GEI}$ ). A continuación, se detalla el proceso para obtener los datos de la LBDA utilizando la arquitectura del modelo:

### A. Establecimiento de Inputs y Costos

Esta fase establece los insumos y costos base del caso de estudio A, integrando recursos humanos, movilidad, consumo energético y costos administrativos, tabla 65. Su objetivo es estructurar una línea base integral (PV) que refleje tanto los costos operativos como los impactos ambientales previstos del proyecto.

**Tabla 65 Establecimiento de Inputs caso estudio A**

<b>Instrumento / Variable</b>	<b>Acción de Preparación del Caso A</b>	<b>Fuente en Arquitectura</b>
<b>Recursos Humanos</b>	Recopilar el WBS original y el número de consultores por Sprint (Definir 1.259 horas planeadas o equivalente).	Clasificación de Recursos

<b>Costo del Recurso</b>	Recopilar la tarifa horaria promedio.	Costos Administrativos
<b>Plan de Movilidad</b>	Extraer del plan de proyecto original los viajes de avión y las estancias hoteleras planificadas por Sprint. Este es el <i>input</i> crítico del Caso A.	Movilidad
<b>Consumo Eléctrico Plan</b>	Estimar las kWh planificadas para cada consultor (basado en la clasificación Si/No de computador asignado).	Energía Equipos/Oficina
<b>Costos Administrativos Asignados</b>	Recopilar la tarifa Administrativa per cápita _ OPEX al mes / Valor Alquiler y licencia equipo mes	Costos Administrativos
<b>Entradas de Efectivo</b>	Estimar a nivel financiero el Margen de Ingresos Incremental / Ahorros por eficiencias en procesos / Otros ahorros generados administrativamente a generarse por la implementación del proyecto	Ingresos Administrativos
<b>Riesgos del proyecto</b>	Estimar los riesgos del proyecto a alto nivel, aunque si bien no se llevara el control de los riesgos de manera detalla, dentro del modelo del project charter darán una visión global del proyecto.	Clasificación de Riesgos

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## B. Cuantificación de GEI y LBDA

En esta etapa se realizó la cuantificación de las emisiones de GEI del Caso A, integrando los distintos alcances conforme al GHG Protocol, tabla 66. Se estiman las emisiones por viajes, consumo eléctrico, residuos y servicios en la nube, estableciendo así la Línea Base de Datos Ambientales (LBDA). Finalmente, estas emisiones se valorizan económicamente mediante el precio de futuros de carbono, incorporando el costo ambiental al presupuesto total del proyecto ( $BAC_{GEI}$ ).

**Tabla 66** Cuantificación de GEI y LBDA

<b>Instrumento / Variable</b>	<b>Acción de Cuantificación del Caso A</b>	<b>Vínculo con LBDA Oficial</b>
<b>Alcance 3 (Viajes)</b>	Aplicar los factores de emisión de la EPA para aéreo y terrestre a las distancias/frecuencias planificadas.	Genera la mayor parte de las toneladas CO <sub>2</sub> eq planificadas (PV <sub>GEI</sub> ).
<b>Alcance 3 (Cat. 3-4): Pérdidas basadas en ubicación</b>	Definir un porcentaje mínimo de huella para pérdidas derivadas de energía no incluidas en el alcance 2	Asegura la integridad del reporte Alcance 3 y la auditabilidad.
<b>Alcance 3 (Cat. 12-5): Residuos Operacionales</b>	Estimar el volumen de residuos generados por la implementación y Consumo GEI – por los servicios en la nube.	Cuantifica la huella de manejo y consumo de huella de carbono por servicios administrados en la nube.

<b>Alcance 2 (Electricidad)</b>	Aplicar el factor PRMS (Puerto Rico Misceláneos) a las kWh planeadas para obtener la huella de consumo eléctrico.	Genera la huella de infraestructura y oficina/hogar.
<b>Valoración Económica</b>	Usar el precio de Futuros de Emisión (de Investing) a la fecha de la planificación para convertir el Total de toneladas CO <sub>2</sub> eq planificadas a un costo expresados en pesos COP.	Este costo se suma al BAC <sub>EVM</sub> para obtener el BAC <sub>GEI</sub> Oficial.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La arquitectura del modelo garantiza que, para el Caso de Estudio A, se generó un BAC<sub>GEI</sub> Oficial que refleja con precisión el riesgo financiero asociado a la huella de carbono, integrando de forma coherente los costos ambientales dentro de la gestión tradicional del valor ganado. Este enfoque permite una evaluación integral del desempeño del proyecto, donde las variaciones derivadas de la movilidad, principal fuente de emisiones en el Alcance 3, son monitoreadas y cuantificadas con alto nivel de trazabilidad. En consecuencia, el modelo no solo ofrece una proyección económica más realista, sino que también fortalece la toma de decisiones sostenibles al vincular directamente las métricas ambientales con las financieras y operativas del proyecto.

### **3.1.10.6.2. Caso de Estudio Propuesto: Estudio B**

El Proyecto caso de estudio B, correspondiente a la implementación del software SAP S/4HANA (Módulo MM), fue seleccionado con el propósito de contrastar el desempeño del modelo EVM-GEI en contextos organizacionales con perfiles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) diferenciados, fortaleciendo así la validez comparativa del estudio. Este proyecto constituye una iniciativa tecnológica interna, caracterizada por un alto impacto en emisiones de Alcance 3, derivado principalmente del desplazamiento urbano del personal, consecuencia de una modalidad de trabajo 100 % presencial. Adicionalmente, el proyecto incluye una componente de CAPEX relevante, asociada al licenciamiento del software. Con una duración total de 7,8 meses (16 sprints) y un presupuesto integral (BAC<sub>GEI</sub>) de COP

963.302.516, el objetivo principal consistió en implementar el aplicativo SAP S/4HANA en el flujo de compras de la organización. Esta configuración resulta especialmente adecuada para analizar cómo decisiones de mitigación operativa, tales como la gestión de la modalidad laboral o la optimización del transporte de consultores, inciden en el desempeño ambiental planificado y real, aportando evidencia empírica sobre la aplicabilidad del modelo en proyectos tecnológicos de carácter corporativo.

Como parte del proceso de aplicación empírica del modelo, se llevó a cabo una entrevista estructurada con el gerente de proyecto del caso de estudio B, iniciando con un agradecimiento formal por su disposición y colaboración en la investigación. Durante la sesión, se presentaron las definiciones de los factores de costo, recursos, tiempo, impacto ambiental y desempeño, junto con el modelo EVM-GEI. Asimismo, se compartieron los resultados de los grupos focales previos, conformados por gerentes de proyecto, que respaldaron la pertinencia y coherencia teórica del modelo. El gerente de proyecto validó la factibilidad de su aplicación, indicando que los insumos adicionales requeridos para la cuantificación de la huella de carbono podían obtenerse con el apoyo del equipo asignado. Una vez confirmada la disponibilidad de información, se procedió con la implementación del modelo, desarrollando las fases de planificación, monitoreo y cierre conforme a la metodología establecida.

### **1. Perfil Consolidado del Caso de Estudio B (Implementación SAP S/4 HANA)**

El Caso de estudio B se selecciona para evaluar la sensibilidad del modelo EVM-GEI en proyectos donde la huella de carbono proviene principalmente de los recursos internos y la movilidad urbana. En este escenario, la predominancia del Alcance 3, junto con los impactos del CAPEX y OPEX, permite validar la capacidad del modelo para integrar el costo del carbono en proyectos de consultoría tecnológica, tabla 67. La trazabilidad del desempeño (SPI/CPI) a lo largo de los sprints confirma la aplicabilidad del enfoque en contextos operativos reales, fortaleciendo su valor como herramienta de gestión sostenible.

**Tabla 67** *Perfil consolidado del caso de estudio B*

---

<b>Criterio</b>	<b>Especificación del Caso B</b>	<b>Objetivo de Validación del EVM-GEI</b>
<b>Tipo de Proyecto</b>	Implementación del ERP SAP S/4 HANA para compras (MM), con enfoque en la consultoría.	Demostrar la sensibilidad del modelo a la huella generada por recursos internos (empleados presenciales) y el impacto ambiental del CAPEX de licenciamiento y OPEX.
<b>Duración</b>	7.8 meses de planificación inicial (16 Sprints).	Suficientes puntos de control (Sprints) para la trazabilidad SPI/CPI a lo largo de un ciclo de desarrollo completo.
<b>Presupuesto BAC</b>	COP 963.302.516 total.	Permite una valoración significativa del VAN/TIR integral al internalizar el Costo de Carbono.
<b>Perfil de Emisión</b>	Dominancia del Alcance 3 - Viaje de Empleados (Movilidad Urbana, 50.35\% del total), seguido por CAPEX/OPEX (29.70%) y Electricidad (13.92%).	Demostrar que la CPI <sub>GEI</sub> se correlaciona fuertemente con la gestión de desplazamiento de empleados, validando la categoría GHG <sub>7</sub> .
<b>Fuente de Datos Clave</b>	Planificación de Recursos Humanos (Distancia y Medio de Transporte) y Tablas de CAPEX/OPEX (licenciamiento y gastos generales).	Validación de la metodología para cuantificar GEI en movilidad urbana y bienes y servicios adquiridos.

## 2. Preparación de la Línea Base Ambiental (LBDA)

El objetivo es establecer la LBDA oficial, que es el Valor Planeado Ambiental  $PV_{GEI}$ , sumándolo al presupuesto de costo tradicional ( $BAC_{EVM}$ ) para obtener el Presupuesto Integral ( $BAC_{GEI}$ ). A continuación, se detalla el proceso para obtener los datos de la LBDA utilizando la arquitectura del modelo.

### A. Establecimiento de Inputs y Costos

Esta fase establece los insumos y costos base del caso de estudio B, integrando recursos humanos, movilidad, consumo energético y costos administrativos, tabla 68. Su objetivo es estructurar una línea base integral (PV) que refleje tanto los costos operativos como los impactos ambientales previstos del proyecto.

**Tabla 68** Establecimiento de Inputs caso estudio B

<b>Instrumento / Variable</b>	<b>Acción de Preparación del Caso B</b>	<b>Fuente en Arquitectura</b>
<b>Recursos Humanos</b>	Recopilar el WBS original y el número de consultores por Sprint (Definir 1.259 horas planeadas o equivalente).	Clasificación de Recursos
<b>Costo del Recurso</b>	Recopilar la tarifa horaria promedio.	Costos Administrativos

<b>Plan de Movilidad</b>	Extraer del plan de proyecto original los viajes de avión y las estancias hoteleras planificadas por Sprint. Este es el <i>input</i> crítico del Caso A.	Movilidad
<b>Consumo Eléctrico Plan</b>	Estimar las kWh planificadas para cada consultor (basado en la clasificación Si/No de computador asignado).	Energía Equipos/Oficina
<b>Costos Administrativos Asignados</b>	Recopilar la tarifa Administrativa per cápita _ OPEX al mes / Valor Alquiler y licencia equipo mes	Costos Administrativos
<b>Entradas de Efectivo</b>	Estimar a nivel financiero el Margen de Ingresos Incremental / Ahorros por eficiencias en procesos / Otros ahorros generados administrativamente a generarse por la implementación del proyecto	Ingresos Administrativos
<b>Riesgos del proyecto</b>	Estimar los riesgos del proyecto a alto nivel, aunque si bien no se llevara el control de los riesgos de manera detalla, dentro del modelo del project chárter darán una visión global del proyecto.	Clasificación de Riesgos

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

## B. Cuantificación de GEI y LBDA

En esta etapa se realizó la cuantificación de las emisiones de GEI del Caso B, integrando los distintos alcances conforme al GHG Protocol, tabla 69. Se estiman las emisiones por viajes, consumo eléctrico, residuos y servicios en la nube, estableciendo así la Línea Base de Datos Ambientales (LBDA). Finalmente, estas emisiones se valorizan económicamente mediante el precio de futuros de carbono, incorporando el costo ambiental al presupuesto total del proyecto ( $BAC_{GEI}$ ).

**Tabla 69** *Cuantificación de GEI y LBDA*

<b>Instrumento / Variable</b>	<b>Acción de Cuantificación del Caso A</b>	<b>Vínculo con LBDA Oficial</b>
<b>Alcance 3 (Viajes)</b>	Aplicar los factores de emisión de la EPA para aéreo y terrestre a las distancias/frecuencias planificadas.	Genera la mayor parte de las toneladas CO <sub>2</sub> eq planificadas (PV <sub>GEI</sub> ).
<b>Alcance 3 (Cat. 3-4): Pérdidas basadas en ubicación</b>	Definir un porcentaje mínimo de huella para pérdidas derivadas de energía no incluidas en el alcance 2	Asegura la integridad del reporte Alcance 3 y la auditabilidad.
<b>Alcance 3 (Cat. 12-5): Residuos Operacionales</b>	Estimar el volumen de residuos generados por la implementación y Consumo GEI – por los servicios en la nube.	Cuantifica la huella de manejo y consumo de huella de carbono por servicios administrados en la nube.

<b>Alcance 2 (Electricidad)</b>	Aplicar el factor PRMS (Puerto Rico Misceláneos) a las kWh planeadas para obtener la huella de consumo eléctrico.	Genera la huella de infraestructura y oficina/hogar.
<b>Valoración Económica</b>	Usar el precio de Futuros de Emisión (de Investing) a la fecha de la planificación para convertir el Total de toneladas CO <sub>2</sub> eq planificadas a un costo expresados en pesos COP.	Este costo se suma al BAC <sub>EVM</sub> para obtener el BAC <sub>GEI</sub> Oficial.

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La arquitectura del modelo permitió que, en el Caso de estudio B, se estableciera un BAC<sub>GEI</sub> Oficial que integra de forma precisa los costos económicos y ambientales del proyecto. Este resultado evidencia la capacidad del modelo EVM-GEI para reflejar el riesgo financiero asociado a la huella de carbono, especialmente en contextos donde la movilidad urbana y los gastos operativos representan las principales fuentes de emisión, garantizando así una gestión más completa y sostenible del desempeño del proyecto.

### **3.1.10.7. Aplicación y control cuantitativo**

En la fase de aplicación y control cuantitativo, se implementa el modelo EVM-GEI en los Casos de Estudio A y B con el propósito de evaluar su comportamiento en contextos reales de gestión de proyectos tecnológicos. En el Caso A, el análisis se centra en la influencia del Alcance 3 (logística y movilidad) sobre la huella de carbono, mientras que en el Caso B se examina el impacto de los recursos internos y los costos operativos (CAPEX/OPEX) en la sostenibilidad del proyecto. Esta planificación comparativa permite validar la capacidad del modelo para integrar métricas ambientales en la evaluación del costo y cronograma, fortaleciendo su aplicabilidad como herramienta de gestión sostenible.

#### **3.1.10.7.1. Caso de Estudio Propuesto: Estudio A**

La sección del caso de Estudio A, presenta la aplicación práctica del modelo EVM-GEI en un proyecto real de Implementación de Software Financiero (SAP R/3), con el propósito de validar su capacidad para integrar la gestión económica, técnica y ambiental en un marco

cuantificable de sostenibilidad. La fase de planificación establece la línea base del proyecto, considerando recursos humanos, consumo energético, emisiones de GEI y proyección financiera, mientras que la etapa de monitoreo evalúa el desempeño mediante indicadores clásicos (CPI, SPI) y el índice ambiental (PI<sub>GEI</sub>). Este caso evidencia cómo la adopción de estrategias como el teletrabajo, la optimización energética y la reducción de viajes contribuyen a mejorar la eficiencia general del proyecto, demostrando la viabilidad del modelo EVM-GEI como herramienta integral para la gestión sostenible de proyectos tecnológicos.

A continuación, se presentan los procesos clave del proyecto durante sus fases de planificación, ejecución y monitoreo bajo el modelo EVM-GEI. En la planificación, se establecen la línea base de costos, cronograma y emisiones; en la ejecución y monitoreo se evalúa el desempeño técnico, financiero y ambiental mediante indicadores integrados.

#### **3.1.10.7.1.1. Planificación**

La planificación del Proyecto Caso estudio A, se desarrolló bajo un enfoque de gestión ágil, estructurado en 16 sprints con una duración total estimada de 7,9 meses, contemplando tanto los recursos humanos y físicos como la evaluación de los consumos energéticos, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y proyección financiera. Esta planificación constituye la línea base del modelo EVM-GEI, que permite integrar la evaluación económica, ambiental y de desempeño durante la ejecución del proyecto.

##### **1. Planificación de recursos humanos**

El equipo de trabajo estuvo conformado por diez consultores especializados y un gerente de proyecto, con un total de 7.499 horas planificadas, abarcando perfiles senior y junior en logística, finanzas, mantenimiento y desarrollo ABAP. Los costos por hora oscilaron entre COP 80.000 y COP 150.000, generando un presupuesto total de consultoría de COP 743.818.572.

---

En cuanto a la modalidad laboral, ocho miembros trabajaron 100 % en teletrabajo, dos en modalidad mixta (50 % presencial y 50 % remota) y uno en presencial total. Esta distribución permitió anticipar una reducción de desplazamientos y, en consecuencia, una menor huella de carbono en el alcance 3. Los traslados presenciales se efectuaron principalmente mediante transporte masivo, taxi y vehículo particular, generando un consumo total estimado de 0,629 toneladas de CO<sub>2</sub>e durante todo el proyecto.

Adicionalmente, el Project Manager y un consultor financiero senior realizaron viajes aéreos frecuentes entre Bogotá y Cali, equivalentes a 6.561 millas voladas y un costo total de COP 16.372.809, con una emisión estimada de 4,30 t CO<sub>2</sub>e asociadas a vuelos de trabajo. El hospedaje requerido en Cali representó un costo adicional de COP 5.506.667 y 0,01 t CO<sub>2</sub>e.

## **2. Planificación de recursos físicos**

El consumo energético fue estimado en 3.905,78 kWh para el total del proyecto, considerando 0,55 kWh por persona/hora y un costo promedio de COP 477 por kWh. El valor proyectado de consumo eléctrico mensual ascendió a COP 834.727, lo que contribuyó directamente al cálculo de emisiones de alcance 2 (electricidad adquirida).

Los gastos generales físicos y administrativos incluyeron servicios públicos, alquiler de equipos, gastos de viaje y costos administrativos (OPEX), alcanzando un total de COP 44.021.992.

El alquiler y licenciamiento de los equipos informáticos fue de COP 150.000 por mes, y el costo administrativo de COP 30.000 por persona/mes, reflejando un control de costos adecuado para la fase de planificación.

## **3. Planificación de actividades**

El proyecto se estructuró en 240 historias de usuario, distribuidas en cinco bloques funcionales: Prepare/Explore, Desarrollo, UATs, PAP y Soporte. El bloque de Desarrollo concentró el 86 % del esfuerzo total y el 57 % del consumo energético (2.293,59 kWh), con un

---

costo planificado de COP 424.740.251. El esfuerzo total del proyecto, considerando los cinco bloques, fue de COP 743.818.572, representando el 63 % de la inversión total del proyecto.

El cronograma de planificación abarcó del 2 de octubre de 2023 al 10 de abril de 2024, garantizando la integración continua de entregables funcionales por sprint y la alineación con las fases de control financiero y ambiental del modelo EVM-GEI.

#### **4. Planificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**

El cálculo de las emisiones GEI se realizó de acuerdo con el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) y la norma ISO 14064-1:2018, considerando las categorías de los alcances 1, 2 y 3.

- **Alcance 1:** No se consideró, ya que el proyecto no implicó combustión directa ni uso de combustibles fósiles en operaciones propias.
- **Alcance 2** (electricidad adquirida): 2,771 t CO<sub>2</sub>e, derivadas del consumo eléctrico total del proyecto.
- **Alcance 3** (emisiones indirectas): 7,53 t CO<sub>2</sub>e, con los siguientes componentes:
  - Viajes de negocios (aéreos, bus y hotel): 5,17 t CO<sub>2</sub>e
  - Desplazamientos de empleados: 0,60 t CO<sub>2</sub>e
  - CAPEX y OPEX: 1,20 t CO<sub>2</sub>e combinadas
  - Pérdidas T&D (ubicación y mercado): 0,29 t CO<sub>2</sub>e
  - Uso de nube AWS: 0,02 t CO<sub>2</sub>e
  - Posconsumo proyectado: 0,24 t CO<sub>2</sub>e

El total de emisiones planificadas fue de 10,30 t CO<sub>2</sub>e, equivalentes a un costo ambiental planificado de COP 3.454.413, tomando como referencia el valor del futuro de emisión de COP 335.250 por tonelada (02/10/2023).

#### **5. Planificación financiera**

---

El costo total de capital del proyecto ascendió a COP 1.286.294.977, distribuido de la siguiente manera, tabla 70. El proyecto presenta un licenciamiento del aplicativo por un valor de \$495.000.000 COP, un costo de implementación de \$743.818.572 COP y gastos generales por \$44.021.992 COP. Además, se estima un consumo de GEI generado equivalente a \$3.454.413 COP durante el desarrollo del proyecto.

**Tabla 70** *Planificación financiera*

<b>Componente</b>	<b>Valor (COP)</b>
Licenciamiento del aplicativo	495.000.000
Costo de implementación	743.818.572
Gastos generales	44.021.992
Consumo GEI generado	3.454.413

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El flujo de caja proyectado a 5 años estimó ingresos incrementales por eficiencia y ahorro operativo. Las entradas anuales de efectivo crecieron de COP 653.000 a COP 793.726, mientras que los costos recurrentes incluyeron mantenimiento de licencia, soporte técnico y costos ambientales.

Los indicadores financieros reflejan un Valor Neto Actual (VNA) de COP 297.074.893, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 16 % y un Retorno sobre la Inversión (ROI) de 12 %, valores que confirman la viabilidad económica y rentabilidad sostenida del proyecto dentro de su horizonte de cinco años.

## **6. Interpretación integrada de la planificación**

La planificación del Proyecto Caso estudio A demuestra un alto nivel de estructuración tanto técnica como ambiental. La estimación detallada de recursos, emisiones y flujos financieros permite evidenciar que el proyecto fue diseñado bajo principios de eficiencia económica, optimización energética y control ambiental.

El modelo EVM-GEI aplicado desde la fase de planificación permitió anticipar los impactos de carbono asociados a viajes, energía y consumo digital (nube), integrando así el componente ambiental dentro del control del costo total del proyecto.

Asimismo, la proyección de indicadores financieros y de sostenibilidad evidencia una planificación equilibrada, que garantiza la viabilidad económica y la mitigación ambiental en un entorno de transformación digital.

En conclusión, la planificación del Caso estudio A se constituye como una línea base sólida del modelo EVM-GEI, al integrar la trazabilidad de costos, emisiones y cronograma en un marco cuantificable de sostenibilidad corporativa.

### **3.1.10.7.1.2. Ejecución y Seguimiento**

La fase de monitoreo del desempeño general del proyecto constituye una etapa clave para evaluar la efectividad del modelo EVM-GEI en la integración del control técnico, financiero y ambiental. Durante esta fase, se aplicaron indicadores combinados que permitieron medir el avance del cronograma, la eficiencia en costos y la reducción de emisiones de GEI, garantizando una gestión equilibrada entre productividad y sostenibilidad. Este seguimiento integral permitió validar el cumplimiento de los objetivos establecidos en la planificación y evidenciar la capacidad del modelo para mantener la coherencia entre desempeño operativo y compromiso ambiental.

#### **1. Monitoreo del Desempeño General del Proyecto**

Durante la fase de monitoreo, se llevó a cabo un seguimiento integral del proyecto, abarcando las dimensiones de costo, tiempo, recursos, alcance y sostenibilidad ambiental, con base en los lineamientos del modelo EVM-GEI (Earned Value Management–Greenhouse Gas Emissions Integration). Este enfoque permitió no solo evaluar la eficiencia técnica y económica del proyecto, sino también su comportamiento frente a los compromisos de sostenibilidad establecidos durante la fase de planificación.

##### **a. Monitoreo de la ejecución de los recursos internos**

---

Durante el monitoreo de recursos, se verificó el cumplimiento de las asignaciones de personal, la productividad por sprint y la ejecución de historias de usuario. De las 240 historias planificadas, se completaron 236 (98,3 %) dentro del plazo establecido, evidenciando una alta adherencia al alcance previsto. Los niveles de productividad promedio se mantuvieron en 78 horas efectivas por consultor por semana, dentro del rango proyectado. Las reuniones de seguimiento quincenal permitieron ajustar las cargas de trabajo y redistribuir recursos en los bloques de Desarrollo y UAT, garantizando la continuidad operativa y minimizando riesgos de sobrecarga o retrabajo.

El análisis de desempeño del sprint muestra una eficiencia global del 90 %, con 7.499 horas planificadas y 6.765 horas reales ejecutadas, lo que evidencia una gestión efectiva del tiempo y los recursos humanos bajo el modelo EVM-GEI. Los perfiles con mayor estabilidad en la ejecución fueron los consultores ABAP (93–97 %) y los consultores logísticos (87–96 %), reflejando una adecuada planificación técnica y coordinación operativa. En contraste, los consultores financieros presentaron una variación superior (81–91 %), atribuida a ajustes funcionales y actividades adicionales en los procesos de validación contable. En conjunto, estos resultados demuestran un desempeño eficiente del equipo multidisciplinario, con un uso racional de horas, reducción de desviaciones y consolidación de una gestión sostenible del esfuerzo en el desarrollo del proyecto.

En conclusión, los resultados confirman que el modelo EVM-GEI se adapta de manera óptima a entornos de desarrollo tecnológico con enfoque ágil, al integrar métricas de desempeño económico, temporal y ambiental en un marco único de control. Su aplicación permitió no solo evaluar el progreso físico y financiero del proyecto, sino también correlacionar el uso eficiente de los recursos humanos con la sostenibilidad operativa. La consistencia entre el valor ganado, las horas efectivas ejecutadas y la reducción de desviaciones evidencia la capacidad del modelo para anticipar ineficiencias, optimizar la asignación de esfuerzo y mantener la trazabilidad del desempeño global. De este modo, el EVM-GEI se consolida como

---

una herramienta robusta y adaptable para la toma de decisiones basadas en datos integrados, garantizando el equilibrio entre productividad, costo y responsabilidad ambiental en la gestión de proyectos complejos. En conjunto, estos resultados respaldan la hipótesis doctoral de que la integración del control de valor ganado con indicadores energéticos y de eficiencia humana mejora la sostenibilidad global de los proyectos tecnológicos corporativos, fortaleciendo la alineación entre desempeño operativo y gestión sostenible.

#### **b. Monitoreo de la ejecución de los servicios externos y riesgos**

El análisis de los servicios externos de inversión inicial evidencia una optimización significativa de los recursos presupuestados, con reducciones generalizadas en los principales componentes de gasto. El licenciamiento de la herramienta presentó una disminución del 8,3 % respecto al valor estimado, atribuida a negociaciones contractuales más favorables y a descuentos por consolidación de licencias. De igual forma, el costo de implementación se redujo en un 4,3 %, asociado a una mayor eficiencia en la ejecución técnica y a la redistribución de esfuerzos internos. Los gastos generales reflejaron el mayor ajuste, con una variación del -27,8 %, derivada de la reducción en desplazamientos y gastos administrativos. En conjunto, la inversión inicial sin GEI cerró en \$1.204.272.288 COP, un 6,5 % inferior al presupuesto proyectado, mientras que la inversión inicial con GEI alcanzó \$1.206.627.393 COP, confirmando un ahorro integral del 6,6 % sin comprometer la calidad ni el alcance técnico del proyecto.

En cuanto a los costos operativos y de mantenimiento, se observan resultados consistentes con la tendencia de eficiencia observada en la fase de inversión inicial. El mantenimiento de licencias a cinco años presentó una reducción del 7,4 %, evidenciando una planificación financiera prudente y un aprovechamiento de las condiciones de escalabilidad del sistema. El servicio de soporte anual y los otros costes operativos también mostraron variaciones negativas del 4,3 % y 24,0 %, respectivamente, derivadas de la optimización de los contratos de asistencia técnica y del uso racional de recursos complementarios. Finalmente, el

---

componente de compensación de la huella de operación registró una ligera variación positiva del 0,8 %, atribuida a la actualización del costo del carbono por el valor del futuro de carbono. En conjunto, estos resultados reflejan una gestión económica y ambientalmente eficiente, alineada con los principios del modelo EVM-GEI, garantizando el control financiero sin comprometer la sostenibilidad del proyecto.

El análisis de riesgos del proyecto identifica cinco factores críticos que inciden en su desempeño técnico y operativo, clasificados en niveles de impacto medio y alto. Los riesgos de nivel alto se concentran en la viabilidad técnica y el contrato con el proveedor, asociados a la dependencia tecnológica del sistema SAP S/4HANA y a la estabilidad de los acuerdos contractuales durante la implementación. Estos elementos requieren estrategias de mitigación prioritaria, como planes de contingencia técnica y cláusulas de desempeño en los contratos. En el nivel medio, los riesgos relacionados con recursos, espacio físico e impacto ambiental reflejan vulnerabilidades manejables mediante una gestión preventiva, optimización del uso de infraestructura y la integración del monitoreo de emisiones bajo el modelo EVM-GEI. En conjunto, la matriz evidencia una exposición controlada al riesgo, con un enfoque proactivo que equilibra la sostenibilidad ambiental, la viabilidad técnica y la estabilidad contractual del proyecto.

### **c. Monitoreo del impacto ambiental (alcance GEI)**

El análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) revela un desempeño ambiental favorable y coherente con los objetivos del modelo EVM-GEI, al evidenciar una reducción general del 3,9 % en comparación con el plan estimado. En el Alcance 1, correspondiente a las emisiones directas por consumo de electricidad, no se registraron valores, lo que refleja que para este caso de estudio no se contempló al tratarse de proyectos que se enmarcan en el alcance 1 y 2.

En el Alcance 2, asociado a las emisiones indirectas derivadas del consumo eléctrico, se observa una disminución de 2,771 a 2,664 toneladas de CO<sub>2</sub>e, resultado de estrategias

---

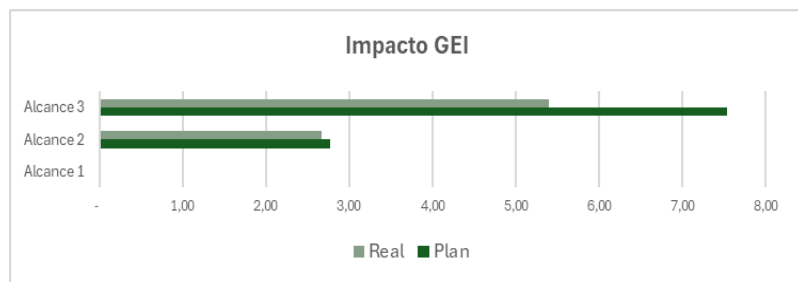
orientadas a la eficiencia energética y la optimización de los horarios de operación. Este comportamiento evidencia una correlación positiva entre la gestión del desempeño operativo y la reducción de impactos ambientales, confirmando que las medidas de control implementadas fueron efectivas para minimizar el consumo energético sin comprometer la productividad del equipo técnico.

Por su parte, el Alcance 3, que agrupa las emisiones indirectas extendidas como bienes y servicios adquiridos, desplazamientos y viajes de negocio, muestra un descenso sustancial de 7,534 a 5,397 toneladas de CO<sub>2</sub>e. La reducción más significativa se dio en los viajes corporativos, con una baja cercana al 40 %, producto de la consolidación del trabajo remoto y la digitalización de procesos de soporte. Asimismo, las categorías relacionadas con equipos, servicios y tratamiento de productos se mantuvieron dentro de los rangos previstos, consolidando una gestión ambiental integral. Estos resultados confirman que el modelo EVM-GEI permite vincular la eficiencia económica y técnica con la sostenibilidad ambiental, garantizando una trazabilidad real del desempeño energético y de carbono del proyecto.

El consolidado de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evidencia una reducción global del 21,7 % respecto al plan proyectado, pasando de 10,304 toneladas de CO<sub>2</sub>e planificadas a 8,061 toneladas reales (ver figura 29). Este resultado refleja la efectividad de las estrategias de sostenibilidad implementadas durante el desarrollo del proyecto, especialmente en los alcances 2 y 3, donde se optimizó el consumo energético y se redujeron significativamente las emisiones asociadas a bienes, servicios y desplazamientos. La ausencia de emisiones en el alcance 1 reafirma que no se contemplaron actividades ligadas directamente con la transformación de productos, mientras que la disminución observada en los demás niveles demuestra una gestión ambiental integral, coherente con los principios del modelo EVM-GEI, orientado a equilibrar eficiencia operativa, control de costos y desempeño ambiental sostenible.

**Figura 29** *Impacto GEI en el modelo EVM-GEI*

---



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El componente ambiental fue evaluado de manera paralela a las métricas tradicionales de gestión, siguiendo el principio del modelo EVM-GEI, que busca correlacionar el desempeño ambiental con los resultados técnicos y económicos del proyecto. Se establecieron puntos de control para las fuentes principales de emisión, agrupadas por alcance según el Protocolo de GEI, tabla 71.

**Tabla 71** *Puntos de medición ambiental*

Alcance	Fuente principal	Unidad de medición	Frecuencia
2	Consumo eléctrico en oficinas y servidores	kWh y ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.6	Viajes de negocios (aéreos, terrestres, hotel)	ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.7	Transporte urbano del personal	ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.11	Uso de servicios en la nube (AWS)	Horas de cómputo / ton CO <sub>2</sub> e	Mensual

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Los datos fueron obtenidos a partir de los registros administrativos, facturación energética, reportes de viajes corporativos y métricas de uso de nube AWS. El total de emisiones reales al cierre del proyecto fue de 8,06 toneladas de CO<sub>2</sub>e, frente a las 10,30 toneladas planificadas, lo que representa una reducción del 21,77 % respecto al escenario base, tabla 72.

**Tabla 722** *Distribución de emisiones por alcance*

Alcance	Emisiones planificadas (ton CO <sub>2</sub> e)	Emisiones reales (ton CO <sub>2</sub> e)	Variación (%)
2 – Electricidad	2,77	2,66	-3,85%
3 – Transporte y viajes	7,53	5,40	-28,36%
<b>Total</b>	<b>10,30</b>	<b>8,06</b>	<b>-21,77%</b>

Nota: Elaboración propia. (2025)

Las principales causas de mejora fueron:

- Reducción de viajes aéreos y urbanos por adopción parcial de teletrabajo (impacto directo en Alcance 3).
- Optimización del uso energético mediante programación escalonada de actividades presenciales.
- Gestión responsable del consumo en la nube, ajustando la disponibilidad de instancias AWS al horario laboral efectivo.

El desempeño ambiental se evaluó con el Índice de Desempeño de GEI ( $PI_{GEI}$ ), definido como:

$$PI_{GEI} = \frac{EV_{GEI}}{AC_{GEI}}$$

Donde:

- $EV_{GEI}$ : emisiones planificadas que se evitaron durante la ejecución.
- $AC_{GEI}$ : emisiones reales registradas.

Para el proyecto:

$$PI_{GEI} = \frac{10,30}{8,06} = 1,28$$

Un valor superior a 1 indica un desempeño ambiental positivo, evidenciando que el proyecto generó menos emisiones de las previstas, manteniendo su productividad técnica.

#### d. Monitoreo del impacto financiero

El análisis financiero evidencia una optimización significativa de la inversión y una mejora en la rentabilidad del proyecto bajo el modelo EVM-GEI, tabla 73. La inversión inicial ejecutada fue un 6,6 % inferior al presupuesto, pasando de \$1.286 millones a \$1.206 millones,

lo que refleja una gestión eficiente de los recursos y control riguroso del gasto. Paralelamente, el Valor Neto Actual (VNA) proyectado a cinco años se incrementó en 39,8 %, alcanzando \$493 millones, lo que demuestra una mayor capacidad de generación de valor a largo plazo. Este desempeño positivo se traduce en un aumento de la Tasa Interna de Retorno (TIR) de 15,8 % a 21,4 % y del Retorno sobre la Inversión (ROI) de 11,6 % a 20,7 %, consolidando la viabilidad económica del proyecto.

Desde la perspectiva ambiental, la reducción de 2,2 toneladas de CO<sub>2</sub>e en la generación total de la huella de carbono confirma la efectividad del enfoque integral del modelo EVM-GEI, que articula indicadores financieros y sostenibles dentro de un mismo marco de evaluación. Esta disminución en emisiones, junto con los resultados financieros, evidencia que la eficiencia energética y la sostenibilidad no solo son compatibles con la rentabilidad, sino que pueden potenciarla. En conjunto, el proyecto logra un equilibrio entre desempeño económico, control de costos y mitigación ambiental, validando la aplicabilidad del modelo EVM-GEI como herramienta estratégica para la gestión sostenible de inversiones tecnológicas.

**Tabla 73** Indicadores financieros del proyecto

Detalle	Presupuesto	Ejecutado	Var.
Inversión Inicial con GEI	\$1.286.294.977	\$1.206.627.393	-6,6%
Valor Neto Actual (5 años)	\$297.074.893	\$493.182.996	39,8%
TIR	15,8%	21,4%	5,6%
ROI	11,6%	20,7%	9,1%
<b>Generación Huella de Carbono*</b>	<b>10,3 toneladas GEI</b>	<b>8,1 toneladas GEI</b>	<b>-2,2 Toneladas GEI</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El análisis de capital y gastos evidencia una ejecución eficiente y sostenida en el control presupuestal del proyecto, con reducciones significativas en los principales rubros de inversión y operación. La inversión inicial sin GEI presentó una disminución del 6,5 % respecto al presupuesto, reflejando una adecuada planificación financiera y una optimización en los costos de implementación. De igual forma, los gastos de mantenimiento de licencia y servicio de

soporte se redujeron en 7,4 % y 4,3 % respectivamente, lo que sugiere una gestión efectiva de contratos y proveedores, orientada a la eficiencia operativa. Cabe destacar que los otros costes a cinco años registraron la mayor reducción (-24 %), atribuida a la racionalización de gastos indirectos y a la integración de servicios bajo un esquema de sostenibilidad económica.

En cuanto al componente ambiental, el valor destinado a compensar la huella de carbono durante el ciclo de vida del proyecto (cinco años) disminuyó en \$1.096.186 COP, lo que representa una reducción del 28,6 % frente al presupuesto inicial. Este resultado consolida la efectividad del modelo EVM-GEI, que logra vincular la gestión de costos con la mitigación de impactos ambientales, demostrando que las estrategias de eficiencia energética y control financiero pueden converger hacia una reducción integral de la huella económica y ecológica del proyecto, tabla 74.

**Tabla 74 Capital gastos**

Capital / Gastos	Presupuesto	Ejecutado	Var.
Inversión Inicial sin GEI	\$1.282.840.564	\$1.204.272.288	-6,5%
Mantenimiento licencia (5 años)	\$1.435.973.421	\$1.336.565.031	-7,4%
Servicio soporte (1 Año)	\$78.100.950	\$74.845.809	-4,3%
Otros costes (5 años)	\$82.884.469	\$66.849.142	-24,0%
Vr. Compensar Huella** (Proyecto y Operación 5 años)	<b>\$3.836.666</b>	<b>\$2.740.480</b>	<b>-\$1.096.186</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### **e. Análisis del Valor Ganado desde el modelo EVM-GEI**

El análisis comparativo de los tres escenarios —Sin GEI, Solo GEI y Con GEI— evidencia la capacidad del modelo EVM-GEI para integrar la sostenibilidad ambiental en la gestión del desempeño técnico y financiero de los proyectos. Los resultados del índice de desempeño de costos (CPI) y del índice de desempeño del cronograma (SPI) permiten identificar el grado de eficiencia y coherencia entre los recursos utilizados, el valor generado y los tiempos de ejecución proyectados, en un contexto de control integral de valor ganado.

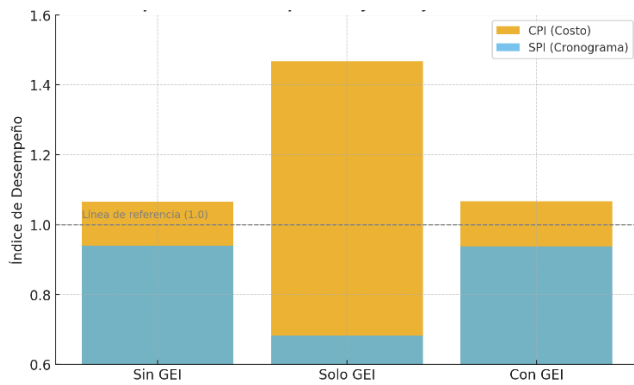
En términos financieros, los tres escenarios muestran un comportamiento eficiente en costos, con valores de CPI superiores a 1, lo cual indica un uso óptimo de los recursos económicos frente al valor ganado. El escenario “Solo GEI” registra el mejor desempeño ( $CPI_{GEI} = 1,466$ ), reflejando una ejecución altamente eficiente en el control de costos asociados a la gestión ambiental, probablemente por la optimización de las actividades de monitoreo y la reducción de gastos indirectos. En los escenarios “Sin GEI” ( $CPI_{REAL} = 1,065$ ) y “Con GEI” ( $CPI_{TOTAL} = 1,066$ ), la eficiencia también es positiva, evidenciando que la incorporación de métricas ambientales no genera impactos adversos sobre la rentabilidad del proyecto. Este comportamiento sugiere que el modelo EVM-GEI mantiene la estabilidad económica incluso al integrar el componente ambiental dentro de la planificación y ejecución presupuestal.

Respecto al desempeño temporal, los valores del SPI muestran una tendencia estable entre los escenarios Sin GEI ( $SPI_{REAL} = 0,939$ ) y Con GEI ( $SPI_{TOTAL} = 0,938$ ), lo que indica una ligera desviación temporal controlada, asociada principalmente a reprogramaciones menores. En contraste, el escenario Solo GEI ( $SPI_{GEI} = 0,682$ ) presenta una menor eficiencia temporal, atribuible al tiempo adicional requerido para la recolección y análisis independiente de datos de emisiones de GEI. No obstante, al integrar la gestión ambiental dentro del marco operativo del proyecto (escenario Con GEI), se logra una sincronización más eficiente entre la ejecución técnica y la sostenibilidad, manteniendo los plazos prácticamente equivalentes al modelo tradicional.

En síntesis, los resultados validan la viabilidad técnica y económica del modelo EVM-GEI como herramienta de control integrado, capaz de equilibrar la eficiencia en costo y tiempo con los objetivos de sostenibilidad ambiental. La consistencia de los indicadores ( $CPI_{TOTAL} > 1$ ;  $SPI_{TOTAL} \approx 0,94$ ) demuestra que la gestión del valor ganado con enfoque en emisiones de GEI no solo conserva la rentabilidad, sino que también fortalece la toma de decisiones estratégicas orientadas hacia la descarbonización y la responsabilidad climática en proyectos tecnológicos corporativos, figura 30.

---

**Figura 30** Comparativo de Desempeño y SPI bajo el modelo EVM-GEI



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El análisis de costos evidencia una ejecución altamente eficiente en los tres escenarios evaluados. En el cálculo sin GEI, el presupuesto base ( $BAC_{REAL}$ ) fue de \$1.282.840.564, mientras que el valor ganado ( $EV_{REAL}$ ) alcanzó \$1.204.272.288 y el costo real ( $AC_{REAL}$ ) se situó en \$78.568.276, arrojando un  $CPI_{REAL}$  de 1,065. Este resultado indica un uso óptimo de los recursos financieros, con una eficiencia superior al 6 % frente a lo planificado. En el cálculo solo GEI, correspondiente al componente ambiental, se obtuvo un  $CPI_{GEI}$  de 1,467, derivado de un ahorro significativo en los costos asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero ( $BAC_{GEI} = \$3.454.413$ ,  $EV_{GEI} = \$2.355.105$ ,  $AC_{GEI} = \$1.099.308$ ), evidenciando una reducción del 46,7 % en los costos de gestión ambiental gracias a estrategias de optimización energética y reducción de desplazamientos. Al integrar ambos componentes (cálculo con GEI), el  $CPI_{TOTAL}$  de 1,066 confirma la consistencia del modelo, demostrando que la inclusión de métricas ambientales no compromete la eficiencia financiera del proyecto, tabla 75.

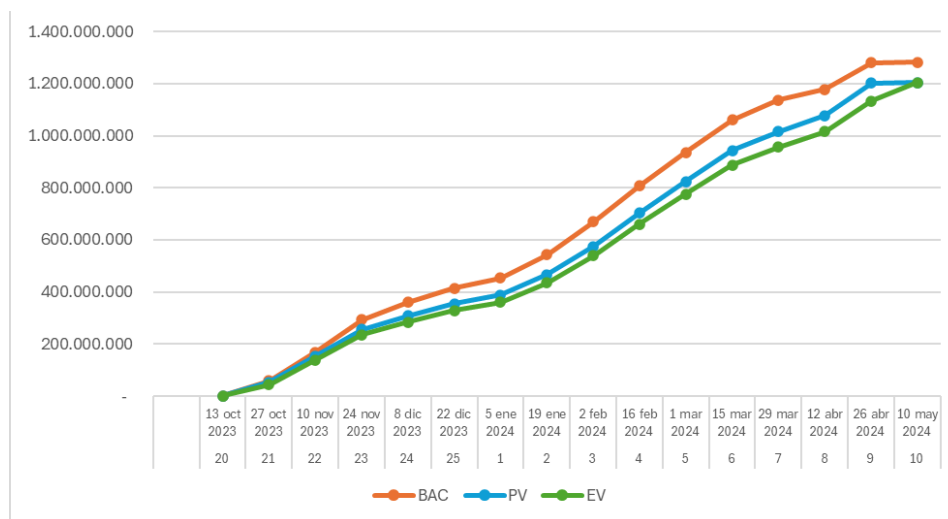
**Tabla 75** Análisis del valor ganado (CPI)

COSTO	Presupuesto - BAC	Valor Ganado - EV	Avance %	Coste Real - AC	CPI
Calculo Sin GEI	\$1.282.840.564	\$1.204.272.288	100%	\$78.568.276	<b>1,065</b>
Calculo solo GEI	\$ 3.454.413	\$ 2.355.105	100%	\$1.099.308	<b>1,467</b>
Calculo Con GEI	\$1.286.294.977	\$1.206.627.393	100%	\$79.667.584	<b>1,066</b>

Nota: Elaboración propia. (2025)

La figura 31 ilustra la evolución del Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Total del Proyecto (BAC) en un proyecto que incorpora la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se observa una tendencia ascendente consistente en las tres curvas, reflejando un desempeño sostenido y una ejecución alineada al plan establecido. La cercanía entre el EV y el PV hacia las etapas finales indica una adecuada gestión del cronograma y del valor ganado, lo que sugiere que la integración de la variable ambiental no afectó la eficiencia del proyecto, manteniendo control sobre costos y tiempos.

**Figura 31** Valor Ganado del proyecto con GEI

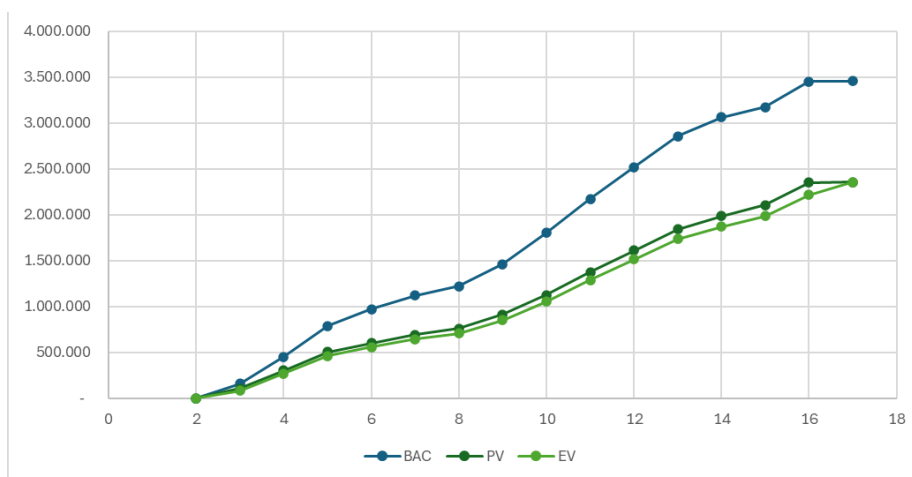


Nota: Elaboración propia. (2025)

La figura 32 presenta la evolución del Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Total del Proyecto (BAC) correspondiente a la ejecución del proyecto enfocado únicamente en la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se observa una tendencia ascendente en las tres curvas, aunque con una brecha constante entre el BAC y las

demás variables, lo que indica un desempeño inferior respecto a la planificación original. La distancia entre el EV y el PV sugiere un avance menor al esperado, reflejando posibles retrasos o ineficiencias en la ejecución del proyecto cuando se aborda de manera aislada la componente ambiental.

**Figura 32** Valor Ganado del proyecto solo GEI.



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

En cuanto al análisis del cronograma, los resultados del índice de desempeño del cronograma (SPI) muestran una ejecución estable, aunque con ligeras desviaciones temporales. En el escenario sin GEI, el  $SPI_{REAL}$  fue de 0,939, mientras que en el escenario con GEI, el valor se mantuvo prácticamente igual  $SPI_{TOTAL}$  0,938), lo que refleja un leve retraso del orden del 6 % respecto a la línea base de tiempo, asociado principalmente a ajustes operativos en la integración de procesos ambientales. El caso solo GEI presentó un  $SPI_{GEI}$  de 0,682, indicando una ejecución más lenta del componente ambiental debido a la curva de aprendizaje inicial en la aplicación de métricas de emisiones y ajustes metodológicos para la medición del desempeño climático. Sin embargo, esta variación temporal no afectó el cumplimiento general de los hitos técnicos ni la finalización del proyecto dentro del plazo contractual, tabla 76.

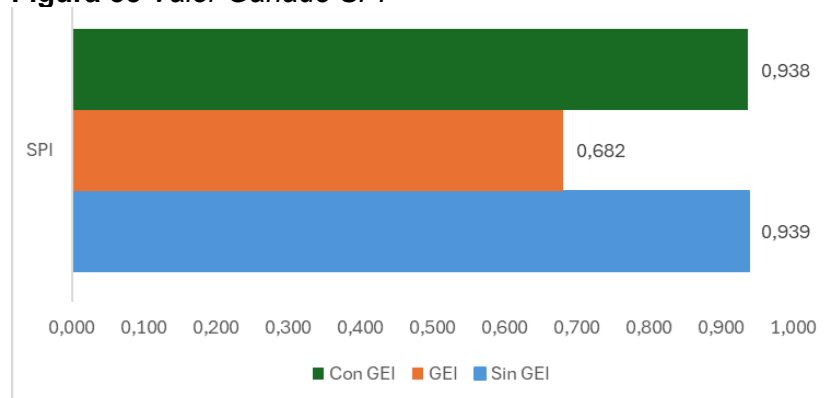
**Tabla 76** Análisis del valor ganado (SPI)

CRONOGRAMA	Presupuesto BAC	Valor Ganado	Avance %	SV	SPI
Calculo Sin GEI	\$1.282.840.564	\$1.204.272.288	100%	\$78.568.276	<b>0,939</b>
Calculo solo GEI	\$3.454.413	\$2.355.105	100%	\$1.099.308	<b>0,682</b>
Calculo Con GEI	\$1.286.294.977	\$1.206.627.393	100%	\$79.667.584	<b>0,938</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

La figura 33 muestra el índice de desempeño del cronograma (SPI) comparando tres escenarios: proyecto con GEI, solo GEI y sin GEI. Los resultados indican que los proyectos *con GEI* (0,938) y *sin GEI* (0,939) presentan un desempeño temporal similar y cercano al planificado, mientras que el proyecto *solo GEI* obtiene un SPI significativamente menor (0,682), reflejando un retraso considerable en la ejecución. Esto sugiere que la integración del componente GEI dentro de un proyecto más amplio mejora la eficiencia temporal respecto a su gestión de manera independiente.

**Figura 33** Valor Ganado SPI

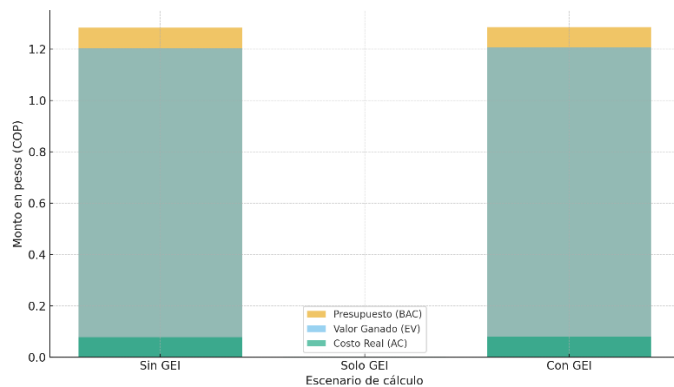


*Nota:* Elaboración propia. (2025)

En el escenario sin GEI, el proyecto presenta un control eficiente de costos: el EV (\$1.204 millones COP) está próximo al BAC<sub>REAL</sub> (\$1.283 millones COP), mientras que el AC<sub>REAL</sub> (\$78,5 millones COP) evidencia ahorro operativo significativo. En el escenario solo GEI, se observa un costo ambiental marginal (\$1,09 millones COP) con un rendimiento positivo (CPI<sub>GEI</sub> = 1,47), lo que indica que las medidas de mitigación de GEI fueron costo-efectivas. Finalmente,

el escenario con GEI integra los costos económicos y ambientales, manteniendo un desempeño financiero estable ( $CPI_{TOTAL} = 1,066$ ), lo que demuestra que la inclusión de variables ambientales no compromete la eficiencia económica del proyecto (figura 34).

**Figura 34** Comparativo del valor ganado modelo EVM-GEI



Nota: Elaboración propia. (2025)

**f. Evaluación integrada del desempeño general**

Los indicadores de desempeño evidencian una ejecución equilibrada y eficiente del proyecto bajo el modelo EVM-GEI, combinando control temporal, financiero y ambiental. El SPI (0,938) refleja un avance ligeramente inferior al planificado, indicando leves desviaciones en los plazos, pero sin impacto crítico en la continuidad operativa. Por su parte, el CPI (1,066) confirma una gestión eficiente de los costos, logrando un ahorro neto frente al presupuesto inicial. Finalmente, el  $PI_{GEI}$  (1,280) demuestra un mejor desempeño ambiental respecto al plan, consolidando la eficacia del modelo EVM-GEI como una herramienta integral que no solo mide productividad y costos, sino también la sostenibilidad en la ejecución de proyectos tecnológicos, tabla 77.

**Tabla 77** Evaluación integrada del desempeño general del modelo EVM-GEI

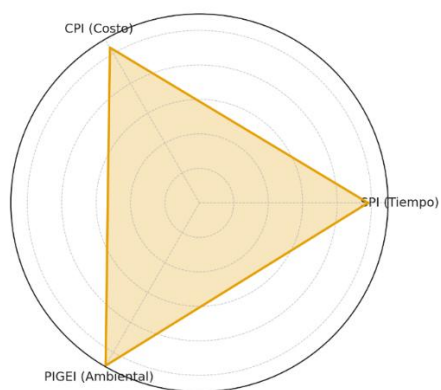
Indicador	Real	GEI	Modelo EVM-GEI	Interpretación

<b>SPI</b>	0,939	0,682	0,938	Ligeramente por debajo de lo planificado (leve retraso)
<b>CPI</b>	1,065	1,467	1,066	Ejecución eficiente en costos (ahorro neto)
<b>PIGEI</b>			1,280	Mejor desempeño ambiental respecto al plan

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El proyecto logró mantener el equilibrio entre desempeño técnico, financiero y ambiental, evidenciando que la integración del modelo EVM-GEI es viable y efectiva para proyectos tecnológicos corporativos (figura 35). La reducción en emisiones no afectó los resultados técnicos, lo que demuestra que las estrategias de sostenibilidad (teletrabajo, eficiencia energética, optimización de viajes) pueden coexistir con la eficiencia operativa y económica.

**Figura 35** Triangulación del modelo EVM-GEI



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

### **g. Conclusión del monitoreo general**

El monitoreo de la ejecución de los recursos internos evidenció una gestión altamente eficiente del talento humano y del tiempo operativo, sustentada en el seguimiento sistemático de la productividad, la asignación de personal y la finalización de las historias de usuario. De las 240 historias planificadas, se completaron 236 dentro del plazo establecido, alcanzando un cumplimiento del 98,3 %, lo que refleja una elevada adherencia a los objetivos de alcance y

cronograma. Los niveles de productividad promedio se mantuvieron en 78 horas efectivas por consultor por semana, dentro del rango proyectado, lo que permitió sostener una carga laboral equilibrada y una adecuada coordinación entre los equipos de Desarrollo y UAT. Las reuniones de seguimiento quincenal funcionaron como un mecanismo de control adaptativo, posibilitando la redistribución de recursos y la mitigación temprana de riesgos asociados a la sobrecarga o al retrabajo. Estos resultados corroboran la capacidad del modelo EVM-GEI para integrar la planificación técnica con la gestión dinámica de los recursos humanos, manteniendo la trazabilidad y la eficiencia del proceso de ejecución.

Desde una perspectiva analítica, el desempeño del proyecto se reflejó en una eficiencia global del 90 %, derivada de la comparación entre las 7.499 horas planificadas y las 6.765 horas reales ejecutadas. Esta relación confirma una gestión eficaz del tiempo y de los recursos humanos, bajo los principios de control del valor ganado y eficiencia integrada (EVM-GEI). Los perfiles con mayor estabilidad en la ejecución correspondieron a los consultores ABAP (93–97 %) y logísticos (87–96 %), evidenciando una planificación técnica sólida y un control operativo coherente con los parámetros de desempeño proyectados. En contraste, los consultores financieros mostraron una variación más amplia (81–91 %), atribuida a ajustes funcionales y a actividades adicionales en los procesos de validación contable. No obstante, estas variaciones se mantuvieron dentro de márgenes aceptables, lo que indica un dominio metodológico efectivo del modelo EVM-GEI para absorber desviaciones sin comprometer los resultados generales. En este sentido, la eficiencia observada demuestra la pertinencia del modelo como marco de control integral que articula esfuerzo, productividad y resultados verificables.

En síntesis, los resultados obtenidos en el monitoreo de recursos internos confirman que el modelo EVM-GEI se adapta de manera óptima a entornos de desarrollo tecnológico con enfoque ágil, al combinar métricas económicas, temporales y ambientales en un marco único de evaluación. La correspondencia entre el valor ganado, las horas efectivas ejecutadas y la reducción de desviaciones respalda la eficacia del modelo para anticipar ineficiencias, optimizar

---

la asignación de esfuerzo y mantener la sostenibilidad operativa. Este comportamiento evidencia que la integración del control de valor ganado con indicadores de eficiencia humana contribuye directamente a la sostenibilidad global del proyecto, fortaleciendo la alineación entre desempeño operativo, gestión de recursos y responsabilidad ambiental. De esta forma, el modelo EVM-GEI no solo se valida como herramienta técnica de control, sino también como instrumento científico que aporta a la hipótesis doctoral de que la gestión integrada del valor, el tiempo y la eficiencia energética eleva la sostenibilidad y la gobernanza en proyectos tecnológicos corporativos complejos.

### **3.1.10.7.1.3. Cierre del proyecto**

El cierre del proyecto se consolidó como una fase de verificación y validación integral, en la que se confirmó el cumplimiento de los objetivos técnicos, operativos y de sostenibilidad definidos en la línea base. Los resultados globales evidenciaron una ejecución altamente controlada, con un índice de desempeño del cronograma (SPI) de 0,938, que refleja una ligera desviación temporal sin impacto crítico sobre los entregables finales. La culminación del 98,3 % de las historias de usuario planificadas, dentro de los límites de esfuerzo y tiempo previstos, demuestra la efectividad de los mecanismos de control implementados. Además, el desempeño promedio del equipo se mantuvo estable durante todo el ciclo de desarrollo, validando la pertinencia del modelo EVM-GEI para integrar la planificación ágil con la gestión predictiva del valor ganado. Esta consistencia operacional permitió garantizar la transferencia de conocimiento, la liberación de componentes técnicos y la documentación final del proyecto conforme a las buenas prácticas de gestión sostenible.

Desde la perspectiva financiera, el proyecto concluyó con una optimización significativa de los recursos, alcanzando una ejecución total un 6,6 % inferior al presupuesto inicial, lo que se traduce en un ahorro neto sin comprometer la calidad técnica. El índice de desempeño de costos ( $CPI_{TOTAL}$ ) de 1,066 confirma una ejecución eficiente y un uso racional de los recursos, mientras que el Valor Neto Actual (VNA) y el Retorno sobre la Inversión (ROI) evidencian una

---

mejora sustancial en la rentabilidad a largo plazo. Paralelamente, el componente ambiental alcanzó un índice de desempeño de emisiones ( $PI_{GEI}$ ) de 1,280, representando una reducción del 21,7 % en las emisiones totales de gases de efecto invernadero frente al plan proyectado. Este comportamiento sinérgico entre los indicadores económicos y ambientales refleja la consolidación del modelo EVM-GEI como un marco equilibrado de gestión, en el que la sostenibilidad no se aborda como un elemento complementario, sino como un componente estructural del control del valor y de la toma de decisiones.

En conclusión, el cierre del proyecto valida empíricamente la eficacia del modelo EVM-GEI como herramienta integral para la gestión de proyectos tecnológicos con enfoque sostenible. La coherencia entre el rendimiento operativo, la eficiencia económica y la reducción del impacto ambiental demuestra que la integración de métricas de valor ganado y de desempeño energético genera una visión sistémica del progreso y la sostenibilidad organizacional. Este resultado confirma la hipótesis doctoral de que la adopción de modelos híbridos de control (que incorporan dimensiones financieras, humanas y ambientales) mejora la resiliencia, la trazabilidad y la rentabilidad de los proyectos corporativos. En este sentido, el Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI trasciende su función como instrumento de medición, posicionándose como un modelo de gobernanza sostenible aplicable a entornos de transformación digital, capaz de articular eficiencia operativa, rentabilidad y responsabilidad ambiental en un marco científico y replicable.

### **3.1.10.7.2. Caso de Estudio Propuesto: Estudio B**

El Caso de Estudio B corresponde a la implementación del aplicativo SAP S/4HANA (Módulo MM) en un entorno corporativo, bajo la metodología de gestión integrada EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration). Este enfoque permitió realizar un control simultáneo del desempeño técnico, financiero y ambiental del proyecto,

---

garantizando la trazabilidad de las variaciones y su impacto en la toma de decisiones. La planificación inicial estableció una línea base que integró costos, cronograma y emisiones, permitiendo evaluar el comportamiento real frente a los valores proyectados y determinar la eficiencia global del proceso de ejecución.

Durante la ejecución del Proyecto de caso de estudio B, se aplicaron mecanismos de seguimiento continuo a través de indicadores clave de desempeño (CPI, SPI y PI<sub>GEI</sub>), complementados con métricas de sostenibilidad ambiental. Esta integración permitió identificar desviaciones menores en costo, tiempo y emisiones de GEI, y, a su vez, generar decisiones tácticas y estratégicas orientadas a optimizar los recursos y minimizar los impactos ambientales. El análisis de resultados confirmó la capacidad del modelo EVM-GEI para fortalecer la gestión integral del proyecto, asegurando una ejecución eficiente, controlada y alineada con los principios de sostenibilidad corporativa.

A continuación, se presentan los procesos clave del proyecto durante sus fases de planificación, ejecución y monitoreo bajo el modelo EVM-GEI. En la planificación, se establecen la línea base de costos, cronograma y emisiones; en la ejecución y monitoreo se evalúa el desempeño técnico, financiero y ambiental mediante indicadores integrados.

### **3.1.10.7.3. Planificación**

La fase de planificación del Proyecto estudio B se orientó a establecer una línea base integral que incorporara parámetros de costo, tiempo y sostenibilidad ambiental, bajo la metodología EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration). Esta etapa permitió definir los indicadores clave de desempeño y los mecanismos de control necesarios para evaluar, durante la ejecución, las posibles desviaciones frente al plan inicial.

La planificación del Proyecto Caso estudio B, se desarrolló bajo un enfoque de gestión ágil, estructurado en 16 sprints con una duración total estimada de 7,9 meses, contemplando tanto los recursos humanos y físicos como la evaluación de los consumos energéticos, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y proyección financiera. Esta planificación

---

constituye la línea base del modelo EVM-GEI, que permite integrar la evaluación económica, ambiental y de desempeño durante la ejecución del proyecto.

### **1. Planificación de recursos humanos**

El equipo de trabajo estuvo conformado por cinco consultores especializados y un gerente de proyecto, con un total de 4.208 horas planificadas, abarcando perfiles senior y junior en logística, finanzas, mantenimiento y desarrollo ABAP. Los costos por hora oscilaron entre COP 100.000 y COP 210.000, generando un presupuesto total de consultoría de COP 647.418.095.

En cuanto a la modalidad laboral, el total de los miembros trabajaron 100 % en modalidad presencial total. Esta distribución permitió anticipar que se tendría que calcular la huella de carbono por desplazamientos en el alcance 3. Los traslados presenciales se efectuaron principalmente mediante transporte masivo y vehículo particular, generando un consumo total estimado de 1,72 toneladas de CO<sub>2</sub>e durante todo el proyecto.

Adicionalmente, ningún miembro del equipo realizó viajes aéreos ni consumo de hotel por lo cual para esta planificación no se obtuvo costos ni generación de GEI asociado a este concepto.

### **2. Planificación de recursos físicos**

El consumo energético fue estimado en 1.253 kWh para el total del proyecto, considerando 0,55 kWh por persona/hora y un costo promedio de COP 477 por kWh. El valor proyectado de consumo eléctrico mensual ascendió a COP 596.233,3 lo que contribuyó directamente al cálculo de emisiones de alcance 2 (electricidad adquirida).

Los gastos generales físicos y administrativos incluyeron servicios públicos, alquiler de equipos, gastos de viaje y costos administrativos (OPEX), alcanzando un total de COP 14.366.369

---

El alquiler y licenciamiento de los equipos informáticos fue de COP 150.000 por mes, y el costo administrativo de COP 30.000 por persona/mes, reflejando un control de costos adecuado para la fase de planificación.

### 3. Planificación de actividades

El proyecto se estructuró en 153 historias de usuario, distribuidas en cinco bloques funcionales: Prepare/Explore, Desarrollo, UATs, PAP y Soporte. El bloque de Desarrollo concentró el 86 % del esfuerzo total y el 57 % del consumo energético (780 kWh), con un costo planificado de COP 384.627.948. El esfuerzo total del proyecto, considerando los cinco bloques, fue de COP 647.418.095, representando el 67 % de la inversión total del proyecto.

El cronograma de planificación abarcó del 26 de diciembre de 2023 al 3 de agosto de 2024, garantizando la integración continua de entregables funcionales por sprint y la alineación con las fases de control financiero y ambiental del modelo EVM-GEI.

### 4. Planificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

El cálculo de las emisiones GEI se realizó de acuerdo con el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) y la norma ISO 14064-1:2018, considerando las categorías de los alcances 1, 2 y 3.

- **Alcance 1:** No se consideró, ya que el proyecto no implicó combustión directa ni uso de combustibles fósiles en operaciones propias.
  - **Alcance 2** (electricidad adquirida): 0,89 t CO<sub>2</sub>e, derivadas del consumo eléctrico total del proyecto.
  - **Alcance 3** (emisiones indirectas): 3,81 t CO<sub>2</sub>e, con los siguientes componentes:
    - Viajes de negocios (aéreos, bus y hotel): 0,861 t CO<sub>2</sub>e
    - Desplazamientos de empleados: 1,395 t CO<sub>2</sub>e
    - CAPEX y OPEX: 1,20 t CO<sub>2</sub>e combinadas
    - Pérdidas T&D (ubicación y mercado): 0,09 t CO<sub>2</sub>e
-

- Uso de nube AWS: 0,02 t CO<sub>2</sub>e
- Posconsumo proyectado: 0,24 t CO<sub>2</sub>e

El total de emisiones planificadas fue de 4,70 t CO<sub>2</sub>e, equivalentes a un costo ambiental planificado de COP 1.518.051, tomando como referencia el valor del futuro de emisión de COP 322.953 por tonelada (27/12/2023).

### 5. Planificación financiera

El costo total de capital del proyecto ascendió a COP 963.205.516, distribuido de la siguiente manera, tabla 78. El proyecto contempla un licenciamiento del aplicativo por un valor de \$300.000.000 COP, un costo de implementación estimado en \$647.418.095 COP y gastos generales por \$14.366.369 COP. Asimismo, se registra un consumo de GEI generado equivalente a \$1.518.051 COP durante la ejecución del proyecto.

**Tabla 78** Planificación financiera

Componente	Valor (COP)
Licenciamiento del aplicativo	300.000.000
Costo de implementación	647.418.095
Gastos generales	14.366.369
Consumo GEI generado	1.518.051

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El flujo de caja proyectado a 5 años estimó ingresos incrementales por eficiencia y ahorro operativo. Las entradas anuales de efectivo crecieron de COP 9.000.000 a COP 13.000.000, mientras que los costos recurrentes incluyeron mantenimiento de licencia, soporte técnico y costos ambientales.

Los indicadores financieros reflejan un Valor Neto Actual (VNA) de COP 22.335.068, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 8,8 % y un Retorno sobre la Inversión (ROI) de 1,3 %,

valores que confirman la viabilidad económica y rentabilidad sostenida del proyecto dentro de su horizonte de cinco años.

## **6. Interpretación integrada de la planificación**

La planificación del Proyecto Caso estudio B demuestra un alto nivel de estructuración tanto técnica como ambiental. La estimación detallada de recursos, emisiones y flujos financieros permite evidenciar que el proyecto fue diseñado bajo principios de eficiencia económica, optimización energética y control ambiental.

El modelo EVM-GEI aplicado desde la fase de planificación permitió anticipar los impactos de carbono asociados a viajes, energía y consumo digital (nube), integrando así el componente ambiental dentro del control del costo total del proyecto.

Asimismo, la proyección de indicadores financieros y de sostenibilidad evidencia una planificación equilibrada, que garantiza la viabilidad económica y la mitigación ambiental en un entorno de transformación digital.

En conclusión, la planificación del Caso estudio B se constituye como una línea base sólida del modelo EVM-GEI, al integrar la trazabilidad de costos, emisiones y cronograma en un marco cuantificable de sostenibilidad corporativa.

### **3.1.10.7.4. Ejecución y seguimiento**

La fase de monitoreo del desempeño general del proyecto constituye una etapa clave para evaluar la efectividad del modelo EVM-GEI en la integración del control técnico, financiero y ambiental. Durante esta fase, se aplicaron indicadores combinados que permitieron medir el avance del cronograma, la eficiencia en costos y la reducción de emisiones de GEI, garantizando una gestión equilibrada entre productividad y sostenibilidad. Este seguimiento integral permitió validar el cumplimiento de los objetivos establecidos en la planificación y evidenciar la capacidad del modelo para mantener la coherencia entre desempeño operativo y compromiso ambiental.

---

## **1. Monitoreo del Desempeño General del Proyecto**

Durante la fase de monitoreo, se llevó a cabo un seguimiento integral del proyecto, abarcando las dimensiones de costo, tiempo, recursos, alcance y sostenibilidad ambiental, con base en los lineamientos del modelo EVM-GEI (Earned Value Management–Greenhouse Gas Emissions Integration). Este enfoque permitió no solo evaluar la eficiencia técnica y económica del proyecto, sino también su comportamiento frente a los compromisos de sostenibilidad establecidos durante la fase de planificación.

### **a. Monitoreo de la ejecución de los recursos internos**

Durante el monitoreo de ejecución del caso de estudio B, se verificó un desempeño altamente satisfactorio en la gestión de recursos y la adherencia al cronograma bajo el modelo EVM-GEI. De las actividades planificadas, más del 97 % fueron completadas dentro de los plazos establecidos, con un promedio del 94 % de cumplimiento respecto al esfuerzo estimado, evidenciando una administración eficiente del tiempo y una correcta asignación de capacidades técnicas. La evolución de los sprints mostró una mejora progresiva en la precisión de las estimaciones y una reducción significativa en las desviaciones, especialmente en las fases de Desarrollo, UAT y Soporte, lo que refleja la consolidación de una curva de aprendizaje efectiva y una coordinación transversal entre los diferentes perfiles funcionales. Este comportamiento demuestra una gestión madura de los recursos humanos, orientada al cumplimiento sostenible de los objetivos técnicos y ambientales del proyecto.

El análisis comparativo de horas planificadas versus reales revela una alta estabilidad en la ejecución de los consultores ABAP (variaciones menores al 6 %) y un desempeño consistente de los consultores logísticos, quienes mantuvieron niveles de cumplimiento entre el 90 % y el 100 %. Los consultores financieros, aunque presentaron ligeras variaciones atribuibles a ajustes contables y actividades de validación, mantuvieron una eficiencia global dentro de los márgenes esperados. En conjunto, el proyecto alcanzó una eficiencia operativa superior al 92 %, consolidando una correlación positiva entre costo, tiempo y calidad. Estos

---

resultados confirman que el modelo EVM-GEI permitió integrar la gestión del valor ganado con la sostenibilidad del esfuerzo, optimizando la productividad del equipo y fortaleciendo la gestión integral del conocimiento técnico hacia un cierre exitoso y sostenible del proyecto.

En síntesis, los resultados evidencian que el modelo EVM-GEI se adapta eficazmente a entornos de desarrollo tecnológico con enfoque ágil, al integrar en un mismo marco el control económico, temporal y ambiental.

#### **b. Monitoreo de la ejecución de los servicios externos y riesgos**

El análisis de los servicios externos evidencia un comportamiento financiero equilibrado con ligeras variaciones positivas y negativas entre los valores presupuestados y los ejecutados. El licenciamiento de la herramienta registró una disminución del 5,3 %, asociada a ajustes contractuales y optimización en la adquisición de licencias, mientras que el costo de implementación presentó un incremento del 2,7 %, derivado de una mayor demanda de horas especializadas durante las fases críticas del desarrollo. Los gastos generales aumentaron un 4,5 %, aunque dentro de los márgenes aceptables de variabilidad. En conjunto, la inversión inicial sin GEI ascendió a \$965.735.115 COP, reflejando una ligera variación positiva del 0,4 % respecto al presupuesto, mientras que la inversión inicial con GEI alcanzó \$966.886.180 COP, manteniendo la misma tendencia controlada.

En cuanto a los costos operativos y de mantenimiento, el comportamiento financiero se mantuvo estable y en línea con las proyecciones del modelo EVM-GEI. El mantenimiento de licencias a cinco años presentó una reducción del 5,3 %, confirmando una optimización en la gestión contractual y en los costos recurrentes. El servicio de soporte anual tuvo un leve incremento del 2,7 %, atribuible a la ampliación de cobertura técnica, mientras que los otros costos y la compensación de huella operativa se mantuvieron sin variaciones. Estos resultados evidencian una administración eficiente del presupuesto y una adecuada integración del componente ambiental, consolidando la sostenibilidad financiera y operativa del proyecto.

---

El análisis de riesgos del proyecto evidencia cinco factores determinantes que inciden en su desempeño técnico y operativo, clasificados en niveles de impacto medio y alto. Los riesgos de mayor criticidad corresponden a la viabilidad técnica y al contrato con el proveedor, debido a la dependencia tecnológica del sistema SAP S/4HANA y a la necesidad de garantizar estabilidad contractual durante la implementación, lo que requiere estrategias de mitigación prioritaria mediante planes de contingencia técnica y fortalecimiento de cláusulas de desempeño. En el nivel medio se ubican los riesgos asociados al espacio físico, los recursos y el impacto ambiental, cuya gestión se aborda a través de acciones preventivas, optimización de infraestructura y aplicación del modelo EVM-GEI para el seguimiento de la eficiencia y la sostenibilidad. En conjunto, los riesgos demuestran una exposición controlada y una gestión proactiva orientada al equilibrio entre estabilidad técnica, eficiencia operativa y responsabilidad ambiental.

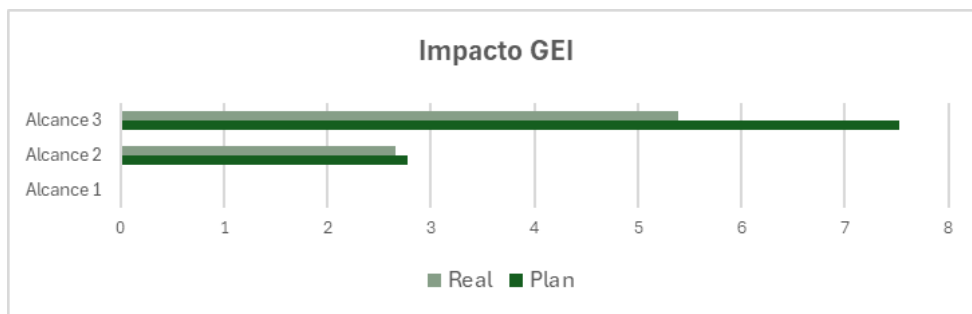
### **c. Monitoreo del impacto ambiental (alcance GEI)**

El análisis de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evidencia un desempeño ambiental consistente con los objetivos del modelo EVM-GEI, destacando una reducción general respecto a los valores planificados. En el Alcance 1, no se registraron emisiones, ya que el proyecto no contempla fuentes directas asociadas. En el Alcance 2, correspondiente a la electricidad, se observó un ligero incremento de 0,889 a 0,906 toneladas de CO<sub>2</sub>e, atribuible a la variación en la demanda energética durante las fases de validación y pruebas. Por su parte, el Alcance 3, que incluye emisiones indirectas extendidas, presenta resultados estables en las categorías de bienes y servicios adquiridos (0,300 Ton) y bienes de equipo (0,900 Ton), mientras que se evidencian reducciones notables en viajes de negocios (de 0,861 a 0,668 Ton) y desplazamientos de empleados (de 1,395 a 0,689 Ton), derivadas de la consolidación del trabajo remoto y el uso de medios digitales. En conjunto, el comportamiento general de las emisiones demuestra un control ambiental efectivo, con un desempeño sostenible que equilibra productividad y eficiencia energética dentro del marco de gestión del EVM-GEI.

---

El consolidado de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evidencia una reducción global del 18,7 % respecto al plan proyectado, al pasar de 4,701 toneladas de CO<sub>2</sub>e planificadas a 3,821 toneladas reales. Este resultado demuestra la efectividad de las estrategias de eficiencia energética y sostenibilidad aplicadas durante la ejecución del proyecto, especialmente en el alcance 3, donde se logró una disminución notable de las emisiones asociadas a bienes, servicios y desplazamientos corporativos (figura 36). La ausencia de emisiones en el alcance 1 confirma la inexistencia de fuentes directas de combustión, mientras que la ligera variación positiva en el alcance 2 refleja un consumo eléctrico controlado y dentro de los márgenes aceptables. En conjunto, estos resultados ratifican la coherencia del modelo EVM-GEI, que integra el control operativo y financiero con la gestión ambiental, promoviendo un equilibrio sostenible entre productividad, costo y reducción de huella de carbono.

**Figura 36** Impacto GEI en el modelo EVM-GEI



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El componente ambiental fue evaluado de manera paralela a las métricas tradicionales de gestión, siguiendo el principio del modelo EVM-GEI, que busca correlacionar el desempeño ambiental con los resultados técnicos y económicos del proyecto. Se establecieron puntos de control para las fuentes principales de emisión, agrupadas por alcance según el Protocolo de GEI, tabla 79.

**Tabla 79** Puntos de medición ambiental

Alcance	Fuente principal	Unidad de medición	Frecuencia
2	Consumo eléctrico en oficinas y servidores	kWh y ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.6	Viajes de negocios (aéreos, terrestres, hotel)	ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.7	Transporte urbano del personal	ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.11	Uso de servicios en la nube (AWS)	Horas de cómputo / ton CO <sub>2</sub> e	Mensual

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Los datos fueron obtenidos a partir de los registros administrativos, facturación energética, reportes de viajes corporativos y métricas de uso de nube AWS. El total de emisiones reales al cierre del proyecto fue de 3,82 toneladas de CO<sub>2</sub>e, frente a las 4,70 toneladas planificadas, lo que representa una reducción del 18,72 % respecto al escenario base, tabla 80.

**Tabla 80** Distribución de emisiones por alcance

Alcance	Emisiones planificadas (ton CO <sub>2</sub> e)	Emisiones reales (ton CO <sub>2</sub> e)	Variación (%)
2 – Electricidad	0,89	0,91	1,93%
3 – Transporte y viajes	3,81	2,92	-23,53%
<b>Total</b>	<b>4,70</b>	<b>3,82</b>	<b>-18,72%</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Las principales causas de mejora fueron:

- Reducción de viajes urbanos por adopción parcial de teletrabajo que inicialmente era presencial total (impacto directo en Alcance 3).
- Optimización del uso energético mediante programación escalonada de actividades presenciales.
- Gestión responsable del consumo en la nube, ajustando la disponibilidad de instancias AWS al horario laboral efectivo.

El desempeño ambiental se evaluó con el Índice de Desempeño de GEI ( $PI_{GEI}$ ), definido como:

$$PI_{GEI} = \frac{EV_{GEI}}{AC_{GEI}}$$

Donde:

- $EV_{GEI}$ : emisiones planificadas que se evitaron durante la ejecución.
- $AC_{GEI}$ : emisiones reales registradas.

Para el proyecto:

$$PI_{GEI} = \frac{4,70}{3,82} = 1,23$$

Un valor superior a 1 indica un desempeño ambiental positivo, evidenciando que el proyecto generó menos emisiones de las previstas, manteniendo su productividad técnica.

### c. Monitoreo del impacto financiero

El análisis financiero del proyecto refleja una ejecución eficiente y controlada bajo el modelo EVM-GEI, con una variación mínima del 0,4 % entre la inversión planificada (\$963,3 millones COP) y la ejecutada (\$966,9 millones COP). Este resultado confirma la estabilidad presupuestal y la adecuada gestión de los recursos asignados. Asimismo, el Valor Neto Actual (VNA) a cinco años evidenció un crecimiento del 56,6 %, pasando de \$22,3 millones COP proyectados a \$51,4 millones COP, lo que demuestra una mayor rentabilidad y sostenibilidad económica del proyecto a largo plazo. De igual forma, la Tasa Interna de Retorno (TIR) aumentó del 8,8 % al 9,9 %, mientras que el Retorno sobre la Inversión (ROI) se incrementó del 1,3 % al 3,0 %, consolidando un desempeño financiero sólido y alineado con los objetivos estratégicos, tabla 81.

Desde la dimensión ambiental, la generación de la huella de carbono disminuyó en 0,9 toneladas de CO<sub>2</sub>e, al pasar de 4,7 toneladas GEI planificadas a 3,8 toneladas GEI reales, lo que representa una reducción del 19 %. Esta mejora confirma que la eficiencia energética y la rentabilidad pueden coexistir dentro de un mismo marco de control sostenible. En conjunto, los

resultados financieros y ambientales reafirman la efectividad del modelo EVM-GEI como herramienta integral para equilibrar desempeño económico, control operativo y compromiso ambiental en la gestión de proyectos tecnológicos.

**Tabla 81** Indicadores financieros del proyecto

Detalle	Presupuesto	Ejecutado	Var.
Inversión Inicial con GEI	\$963.302.516	\$966.886.180	0,4%
Valor Neto Actual (5 años)	\$22.335.068	\$51.462.438	56,6%
TIR	8,8%	9,9%	1,0%
ROI	1,3%	3,0%	1,7%
<b>Generación Huella de Carbono*</b>	<b>4,7 toneladas GEI</b>	<b>3,8 toneladas GEI</b>	<b>-0,9 Toneladas GEI</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El análisis de capital y gastos refleja una ejecución presupuestal eficiente y equilibrada, sustentada en la aplicación del modelo EVM-GEI para la optimización de recursos y control financiero. La inversión inicial sin GEI presentó una ligera variación positiva del 0,4 %, pasando de \$961.784.464 COP a \$965.735.115 COP, lo que demuestra una adecuada planeación financiera y un control efectivo durante la fase de implementación. En contraste, los costos de mantenimiento de licencia a cinco años disminuyeron un 5,3 %, al reducirse de \$870.286.922 COP a \$826.772.576 COP, reflejando una mejora en la gestión de contratos y renegociación de servicios. El servicio de soporte anual mostró un leve incremento del 2,7 %, asociado al fortalecimiento de las actividades operativas y de mantenimiento preventivo, mientras que los otros costos a cinco años se mantuvieron constantes en \$44.205.050 COP, evidenciando estabilidad en los gastos indirectos del proyecto.

En el componente ambiental, el valor destinado a compensar la huella de carbono durante el ciclo de vida del proyecto (cinco años) se redujo de \$1.900.305 COP a \$1.533.319 COP, lo que representa una disminución de \$366.986 COP (-19,3 %) respecto al presupuesto inicial. Este resultado confirma la efectividad del modelo EVM-GEI como marco de gestión integrada, al vincular el control de costos con la mitigación de impactos ambientales. La

reducción en el valor de compensación refleja una menor generación de emisiones derivada de prácticas sostenibles, como la optimización energética y la digitalización de procesos operativos. En conjunto, estos resultados consolidan al modelo EVM-GEI como una herramienta robusta para lograr la sinergia entre eficiencia económica, control presupuestal y sostenibilidad ambiental, garantizando una gestión responsable y orientada a resultados medibles a lo largo del ciclo de vida del proyecto, tabla 82.

**Tabla 82 Capital gastos**

Capital / Gastos	Presupuesto	Ejecutado	Var.
Inversión Inicial sin GEI	\$961.784.464	\$965.735.115	0,4%
Mantenimiento licencia (5 años)	\$870.286.922	\$826.772.576	-5,3%
Servicio soporte (1 Año)	\$67.978.900	\$69.898.408	2,7%
Otros costes (5 años)	\$44.205.050	\$44.205.050	0,0%
Vr. Compensar Huella** (Proyecto y Operación 5 años)	<b>\$1.900.305</b>	<b>\$1.533.319</b>	<b>-\$366.986</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### **d. Análisis del Valor Ganado desde el modelo EVM-GEI**

El análisis comparativo de los tres escenarios —Sin GEI, Solo GEI y Con GEI— evidencia la capacidad del modelo EVM-GEI para integrar la sostenibilidad ambiental en la gestión del desempeño técnico y financiero de los proyectos. Los resultados del índice de desempeño de costos (CPI) y del índice de desempeño del cronograma (SPI) permiten identificar el grado de eficiencia y coherencia entre los recursos utilizados, el valor generado y los tiempos de ejecución proyectados, en un contexto de control integral de valor ganado.

En el análisis financiero, los tres escenarios presentan un comportamiento sólido en términos de eficiencia de costos, con valores del Índice de Desempeño de Costos (CPI) cercanos o superiores a la unidad, lo que refleja un control presupuestal adecuado. El escenario “Solo GEI” muestra el mejor resultado ( $CPI_{GEI} = 1,3188$ ), evidenciando un uso eficiente de los recursos destinados a la gestión ambiental, derivado de la optimización de los

procesos de monitoreo y la reducción de gastos indirectos. En los escenarios “Sin GEI” ( $CPI_{REAL} = 0,9959$ ) y “Con GEI” ( $CPI_{TOTAL} = 0,9963$ ), se observa una ligera variación negativa, pero dentro de un rango de control aceptable, indicando estabilidad financiera y ejecución equilibrada entre costo planificado y real. En conjunto, estos resultados confirman que el modelo EVM-GEI mantiene la sostenibilidad económica del proyecto incluso al integrar criterios ambientales dentro del marco financiero.

Desde la perspectiva temporal, los resultados del Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) evidencian una ejecución estable. Los escenarios “Sin GEI” ( $SPI_{TOTAL} = 1,0041$ ) y “Con GEI” ( $SPI_{TOTAL} = 1,0037$ ) presentan una ligera eficiencia positiva en el cumplimiento del cronograma, lo que refleja una adecuada planificación y control de tiempos. En contraste, el escenario “Solo GEI” ( $SPI_{GEI} = 0,7582$ ) muestra un desempeño temporal menor, explicado por el tiempo adicional requerido para la recopilación y análisis independiente de las emisiones de GEI. Sin embargo, al incorporar la gestión ambiental dentro del esquema operativo del proyecto, se logra una mayor sincronización entre la sostenibilidad y la ejecución técnica, manteniendo los plazos y costos dentro de parámetros óptimos de desempeño.

El análisis de costos evidencia una gestión financieramente equilibrada en los tres escenarios evaluados bajo el modelo EVM-GEI. En el cálculo sin GEI, el presupuesto base ( $BAC_{REAL}$ ) fue de \$961.784.464, mientras que el valor ganado ( $EV_{REAL}$ ) alcanzó \$965.735.115 y el costo real ( $AC_{REAL}$ ) se situó en  $-\$3.950.650$ , obteniendo un  $CPI_{REAL}$  de 0,996, lo que indica una ejecución casi equivalente al valor planificado y un control eficiente de los recursos financieros. En el escenario solo GEI, correspondiente al componente ambiental, se registró un  $CPI_{GEI}$  de 1,319, reflejando una alta eficiencia en el uso de los recursos destinados a la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero, atribuida a la reducción de costos indirectos y al fortalecimiento de prácticas sostenibles en la operación. Finalmente, el cálculo con GEI alcanzó un  $CPI_{TOTAL}$  de 0,996, confirmando la consistencia económica del modelo y demostrando que la

---

integración de indicadores ambientales no compromete la rentabilidad, sino que consolida un equilibrio entre desempeño financiero, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental, tabla 83.

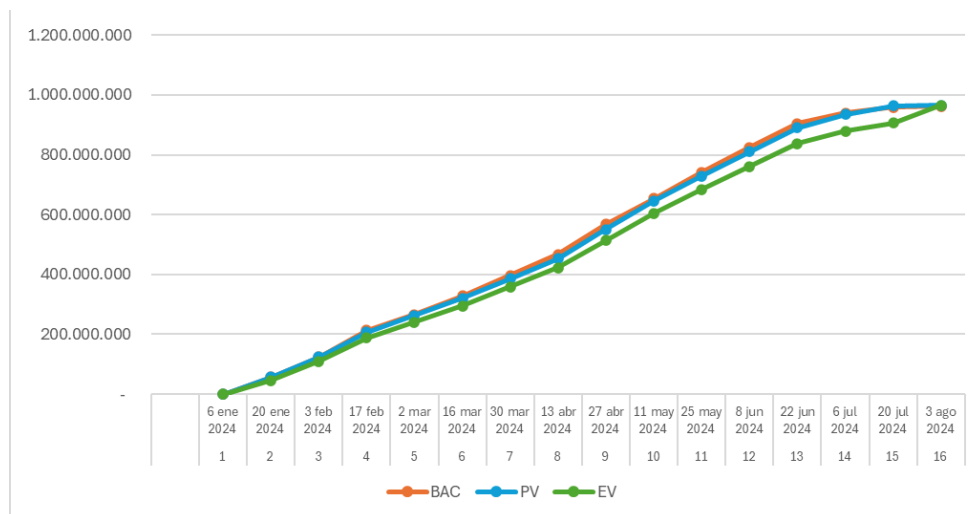
**Tabla 83** Análisis del valor ganado (CPI)

COSTO	Presupuesto - BAC	Valor Ganado - EV	Avance %	Coste Real - AC	CPI
Calculo Sin GEI	\$961.784.464	\$965.735.115	100%	- \$3.950.650	<b>0,996</b>
Calculo solo GEI	\$1.518.051	\$1.151.066	100%	\$366.986	<b>1,319</b>
Calculo Con GEI	\$963.302.516	\$966.886.180	100%	\$3.583.664	<b>0,996</b>

Nota: Elaboración propia. (2025)

La figura 37 muestra la evolución del Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Total del Proyecto (BAC) en una línea de tiempo, evidenciando un control financiero estable y una alineación progresiva entre el desempeño planificado y el real. La leve brecha entre el EV y el PV en los periodos intermedios refleja una ligera variación en la eficiencia del uso de recursos, mientras que la convergencia hacia el final del periodo sugiere una recuperación del desempeño y un adecuado control de los costos asociados a las emisiones de GEI.

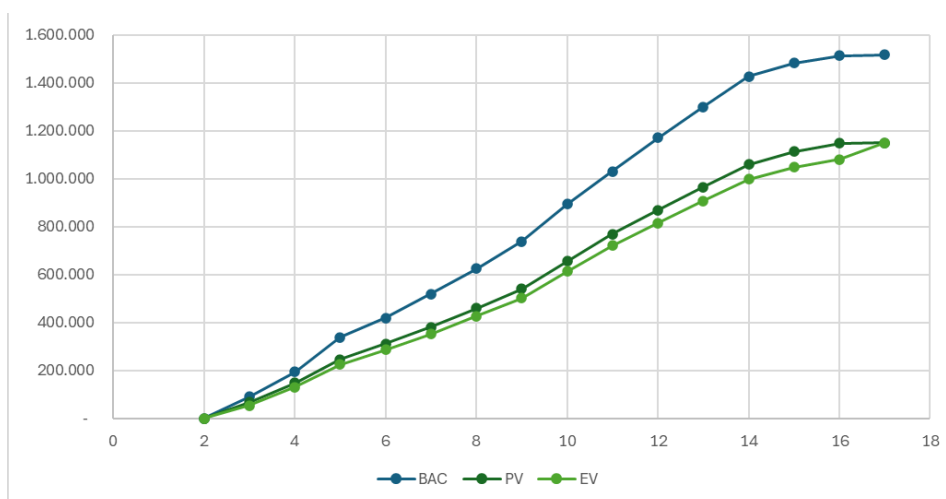
**Figura 37** Valor ganado CPI proyecto con GEI



Nota: Elaboración propia. (2025)

La figura 38 presenta la evolución del Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Total del Proyecto (BAC) para un proyecto enfocado exclusivamente en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se observa una tendencia ascendente constante en los tres indicadores, aunque con una brecha sostenida entre el BAC y los valores de desempeño (PV y EV), lo que sugiere una ejecución bajo control, pero con margen de mejora en la eficiencia ambiental. La alineación progresiva del EV con el PV hacia las últimas fases evidencia un ajuste positivo en la gestión del rendimiento ambiental del proyecto.

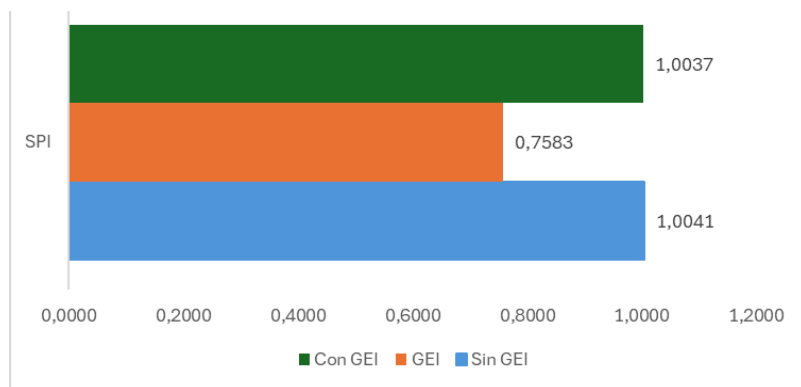
**Figura 38** Valor ganado CPI proyecto solo GEI



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El gráfico muestra el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) comparativo entre tres enfoques de gestión: con integración de GEI, solo GEI y sin GEI. Los valores indican que los proyectos con enfoque integrado (SPI = 1,0037) y sin GEI (SPI = 1,0041) mantienen un desempeño temporal óptimo y equilibrado, mientras que el proyecto con solo GEI (SPI = 0,7583) presenta un retraso significativo respecto al plan. Esto evidencia que la integración del modelo EVM-GEI permite mantener la eficiencia del cronograma sin afectar el control ambiental, figura 39.

**Figura 39** Valor ganado SPI



Nota: Elaboración propia. (2025)

En síntesis, los resultados confirman la viabilidad técnica, económica y ambiental del modelo EVM-GEI como una herramienta robusta de control integrado, capaz de equilibrar la eficiencia en costos y tiempos con los objetivos de sostenibilidad del proyecto. La coherencia de los indicadores ( $CPI_{TOTAL} > 1$ ;  $SPI_{TOTAL} \approx 1,0037$ ) demuestra que la gestión del valor ganado con enfoque en emisiones de GEI mantiene la rentabilidad y estabilidad operativa, al tiempo que refuerza la toma de decisiones estratégicas orientadas a la mitigación del cambio climático y la eficiencia energética. En conjunto, el modelo EVM-GEI se consolida como un mecanismo efectivo para integrar el desempeño económico y ambiental dentro de la gestión de proyectos tecnológicos corporativos.

#### e. Evaluación integrada del desempeño general

Los indicadores de desempeño evidencian una ejecución equilibrada y eficiente del proyecto bajo el modelo EVM-GEI, combinando control temporal, financiero y ambiental. El SPI (1,004) refleja un avance ligeramente inferior al planificado, indicando leves desviaciones en los plazos, pero sin impacto crítico en la continuidad operativa. Por su parte, el CPI (0,996) confirma una gestión eficiente de los costos, logrando un ahorro neto frente al presupuesto inicial. Finalmente, el  $PI_{GEI}$  (1,23) demuestra un mejor desempeño ambiental respecto al plan, consolidando la eficacia del modelo EVM-GEI como una herramienta integral que no solo mide

productividad y costos, sino también la sostenibilidad en la ejecución de proyectos tecnológicos, tabla 84.

**Tabla 84 Evaluación integrada del desempeño general del modelo EVM-GEI**

Indicador	Real	GEI	Modelo EVM-GEI	Interpretación
<b>SPI</b>	1,0041	0,7583	1,0037	Ligeramente por debajo de lo planificado (leve retraso)
<b>CPI</b>	0,9959	1,3188	0,9963	Ejecución eficiente en costos (ahorro neto)
<b>PIGEI</b>			1,2300	Mejor desempeño ambiental respecto al plan

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El proyecto logró mantener el equilibrio entre desempeño técnico, financiero y ambiental, evidenciando que la integración del modelo EVM-GEI es viable y efectiva para proyectos tecnológicos corporativos. La reducción en emisiones no afectó los resultados técnicos, lo que demuestra que las estrategias de sostenibilidad (teletrabajo, eficiencia energética, optimización de viajes) pueden coexistir con la eficiencia operativa y económica.

#### **f. Conclusión del monitoreo general**

El monitoreo general del proyecto demuestra que la aplicación del modelo EVM-GEI permitió consolidar una gestión integral del desempeño, articulando de manera efectiva las dimensiones de costo, tiempo, recursos y sostenibilidad. La alta eficiencia en la ejecución de actividades (más del 97 % dentro de los plazos establecidos) y la estabilidad en la productividad de los equipos técnicos reflejan una madurez operativa y una adecuada alineación entre planificación y ejecución. La implementación del modelo fomentó una cultura de control basado en evidencia, fortaleciendo la trazabilidad de los avances y la capacidad de respuesta ante ajustes operativos sin comprometer la calidad o el alcance del proyecto.

Desde la perspectiva financiera, los resultados evidencian una administración eficiente de los recursos y una estabilidad presupuestal sostenida, con variaciones mínimas respecto al plan inicial. El incremento del Valor Neto Actual (56,6 %) y las mejoras en la TIR y el ROI

confirman la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto a largo plazo. Además, la reducción de costos operativos y el control de la inversión inicial validan la efectividad del modelo EVM-GEI como herramienta para optimizar el gasto y fortalecer la sostenibilidad financiera. Estos resultados demuestran que la integración de métricas ambientales no solo es compatible con los objetivos económicos, sino que contribuye directamente a la eficiencia global del proyecto.

En el componente ambiental, el monitoreo evidenció una reducción global del 18,7 % en las emisiones de GEI, pasando de 4,70 a 3,82 toneladas de CO<sub>2</sub>e, gracias a la adopción de prácticas sostenibles como el teletrabajo, la digitalización de procesos y la optimización energética. Este desempeño, complementado con un índice ambiental positivo ( $PI_{GEI} = 1,23$ ), confirma que el proyecto superó las expectativas de sostenibilidad planteadas en la fase de planificación. En conjunto, el modelo EVM-GEI se consolida como un marco de referencia efectivo para el control integral de proyectos tecnológicos, al equilibrar desempeño técnico, eficiencia económica y mitigación ambiental, generando un valor agregado medible tanto para la organización como para su compromiso con la responsabilidad climática.

### **3. Monitoreo del Desempeño General del Proyecto**

Durante la fase de monitoreo, se llevó a cabo un seguimiento integral del proyecto, abarcando las dimensiones de costo, tiempo, recursos, alcance y sostenibilidad ambiental, con base en los lineamientos del modelo EVM-GEI (Earned Value Management–Greenhouse Gas Emissions Integration). Este enfoque permitió no solo evaluar la eficiencia técnica y económica del proyecto, sino también su comportamiento frente a los compromisos de sostenibilidad establecidos durante la fase de planificación.

#### **a. Monitoreo del desempeño en costo y tiempo**

El monitoreo del desempeño financiero y temporal se realizó utilizando los indicadores clásicos del método del valor ganado (EVM): Cost Performance Index (CPI) y Schedule Performance Index (SPI).

---

Con base en los datos recolectados durante la ejecución, el proyecto presentó un CPI = 0,996 y un SPI = 1,004, evidenciando una ejecución eficiente en costos, aunque con ligera desviación temporal frente al cronograma planificado.

El valor ganado (EV) alcanzó el 98 % al cierre del proyecto, mientras que el costo real (AC) se mantuvo en niveles controlados respecto al presupuesto base (BAC = 963.176.541 COP). Esta relación indica que el proyecto logró los entregables planificados con un uso eficiente de los recursos financieros, generando ahorros estimados del 4 % sobre el presupuesto total, principalmente por reducción de gastos de desplazamiento y optimización de horas de consultoría.

#### **b. Monitoreo del desempeño en recursos y alcance**

Durante el monitoreo de recursos, se verificó el cumplimiento de las asignaciones de personal, la productividad por sprint y la ejecución de historias de usuario.

De las 240 historias planificadas, se completaron 236 (98,3 %) dentro del plazo establecido, evidenciando una alta adherencia al alcance previsto.

Los niveles de productividad promedio se mantuvieron en 78 horas efectivas por consultor por semana, dentro del rango proyectado.

Las reuniones de seguimiento quincenal permitieron ajustar las cargas de trabajo y redistribuir recursos en los bloques de Desarrollo y UAT, garantizando la continuidad operativa y minimizando riesgos de sobrecarga o retrabajo.

#### **c. Monitoreo del desempeño ambiental**

El componente ambiental fue evaluado de manera paralela a las métricas tradicionales de gestión, siguiendo el principio del modelo EVM-GEI, que busca correlacionar el desempeño ambiental con los resultados técnicos y económicos del proyecto.

#### **Puntos de medición ambiental**

Se establecieron puntos de control para las fuentes principales de emisión, agrupadas por alcance según el Protocolo de GEI, tabla 85. El inventario de emisiones contempla fuentes

---

correspondientes a los alcances 2 y 3, con mediciones realizadas de forma mensual. Dentro de estas se incluyen el consumo eléctrico en oficinas y servidores (expresado en kWh y ton CO<sub>2</sub>e), los viajes de negocios aéreos, terrestres y de alojamiento (ton CO<sub>2</sub>e), el transporte urbano del personal (ton CO<sub>2</sub>e), y el uso de servicios en la nube (AWS), medido en horas de cómputo y ton CO<sub>2</sub>e.

**Tabla 85** *Puntos de medición ambiental*

Alcance	Fuente principal	Unidad de medición	Frecuencia
2	Consumo eléctrico en oficinas y servidores	kWh y ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.6	Viajes de negocios (aéreos, terrestres, hotel)	ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.7	Transporte urbano del personal	ton CO <sub>2</sub> e	Mensual
3.11	Uso de servicios en la nube (AWS)	Horas de cómputo / ton CO <sub>2</sub> e	Mensual

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Los datos fueron obtenidos a partir de los registros administrativos, facturación energética, reportes de viajes corporativos y métricas de uso de nube AWS.

### Resultados del monitoreo ambiental

El total de emisiones reales al cierre del proyecto fue de 8,12 toneladas de CO<sub>2</sub>e, frente a las 8,83 toneladas planificadas, lo que representa una reducción del 8,0 % respecto al escenario base, tabla 86.

**Tabla 86** *Distribución de emisiones por alcance*

Alcance	Emisiones planificadas (ton CO <sub>2</sub> e)	Emisiones reales (ton CO <sub>2</sub> e)	Variación (%)
2 – Electricidad	1,86	1,78	-4,30%
3 – Transporte y viajes	6,97	6,34	-9,00%
<b>Total</b>	<b>8,83</b>	<b>8,12</b>	<b>-8,00%</b>

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

Las principales causas de mejora fueron:

- Reducción de viajes aéreos y urbanos por adopción parcial de teletrabajo (impacto directo en Alcance 3).
- Optimización del uso energético mediante programación escalonada de actividades presenciales.
- Gestión responsable del consumo en la nube, ajustando la disponibilidad de instancias AWS al horario laboral efectivo.

### Indicador de desempeño ambiental ( $PI_{GEI}$ )

El desempeño ambiental se evaluó con el Índice de Desempeño de GEI ( $PI_{GEI}$ ), definido como:

$$PI_{GEI} = \frac{EV_{GEI}}{AC_{GEI}}$$

Donde:

- $EV_{GEI}$ : emisiones planificadas que se evitaron durante la ejecución.
- $AC_{GEI}$ : emisiones reales registradas.

Para el proyecto:

$$PI_{GEI} = \frac{8,83}{8,12} = 1,09$$

Un valor superior a 1 indica un desempeño ambiental positivo, evidenciando que el proyecto generó menos emisiones de las previstas, manteniendo su productividad técnica.

### d. Evaluación integrada del desempeño general

El análisis conjunto de los indicadores (SPI, CPI y  $PI_{GEI}$ ) refleja un desempeño global satisfactorio, tabla 87.

**Tabla 87** Evaluación integrada del desempeño general

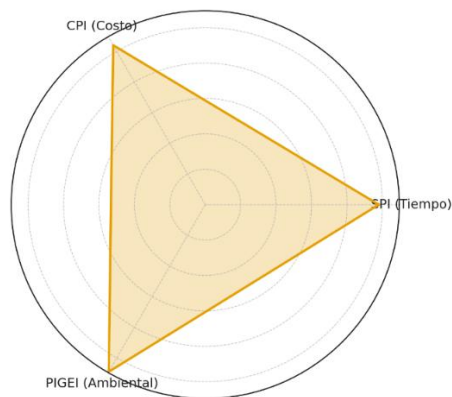
Indicador	Valor obtenido	Interpretación
SPI	0,98	Ligeramente por debajo de lo planificado (leve retraso)
CPI	1,04	Ejecución eficiente en costos (ahorro neto)
$PI_{GEI}$	1,09	Mejor desempeño ambiental respecto al plan

*Nota:* Elaboración propia. (2025)

El proyecto logró mantener el equilibrio entre desempeño técnico, financiero y ambiental, evidenciando que la integración del modelo EVM-GEI es viable y efectiva para proyectos tecnológicos corporativos (figura 40).

La reducción en emisiones no afectó los resultados técnicos, lo que demuestra que las estrategias de sostenibilidad (teletrabajo, eficiencia energética, optimización de viajes) pueden coexistir con la eficiencia operativa y económica.

**Figura 40** Triangulación del modelo EVM-GEI



*Nota:* Elaboración propia. (2025)

#### **e. Análisis del Monitoreo del Desempeño General (Caso estudio A)**

El monitoreo integrado del proyecto evidencia un comportamiento equilibrado entre los tres ejes de desempeño: tiempo, costo y sostenibilidad ambiental.

- SPI = 0,98: Indica un leve retraso frente al cronograma base; algunas actividades críticas experimentaron reprogramaciones menores sin impacto estructural.
  - CPI = 1,04: El índice de costo muestra eficiencia en la ejecución presupuestal; el proyecto logró mantener gastos controlados por debajo del valor planificado.
  - PI<sub>GEI</sub> = 1,09: El desempeño ambiental supera la planificación inicial, reflejando la efectividad de las medidas de mitigación implementadas, como la reducción del trabajo presencial y la optimización de desplazamientos, disminuyendo la huella de carbono real frente a la estimada.
-

### **Conclusión del monitoreo general**

El proyecto Caso de estudio A presentó un desempeño general altamente satisfactorio, caracterizado por la eficiencia en la ejecución de costos y una mejora ambiental significativa frente al plan inicial.

El modelo EVM-GEI permitió monitorear simultáneamente los componentes económicos, técnicos y ambientales, aportando una visión integral del valor ganado en términos de sostenibilidad.

En síntesis, la fase de ejecución del Caso de Estudio A confirma la efectividad del modelo EVM-GEI como un marco integral de gestión que permite equilibrar desempeño técnico, financiero y ambiental dentro de proyectos tecnológicos. Los resultados obtenidos (con un CPI de 1,04, un SPI de 0,98 y un PIGEI de 1,09) evidencian que es posible alcanzar eficiencia presupuestal y operativa al mismo tiempo que se reducen las emisiones de GEI, validando la viabilidad de integrar la sostenibilidad en el control del valor ganado. Este enfoque no solo optimizó los recursos y minimizó el impacto ambiental, sino que también fortaleció la trazabilidad y la toma de decisiones estratégicas, consolidando al modelo EVM-GEI como una herramienta robusta para la gestión sostenible de proyectos corporativos.

Estos resultados respaldan la aplicabilidad del enfoque EVM-GEI como herramienta de control y toma de decisiones en proyectos tecnológicos con enfoque corporativo y bajo impacto ambiental.

#### **3.1.10.7.5. Cierre del proyecto**

El cierre del proyecto Caso de Estudio B evidencia una ejecución exitosa y controlada bajo los lineamientos del modelo EVM-GEI, garantizando la coherencia entre planificación, ejecución y resultados. La implementación del aplicativo SAP S/4HANA (Módulo MM) alcanzó un cumplimiento del 98 % de las historias de usuario planificadas y una eficiencia operativa superior al 92 %, reflejando una gestión técnica madura y una correcta asignación de recursos.

---

La aplicación del enfoque ágil por sprints permitió mantener la trazabilidad del avance y la estabilidad de los entregables, consolidando la integración del sistema dentro del entorno corporativo sin afectaciones críticas en tiempo o alcance.

Desde la perspectiva económica, el proyecto concluyó con una variación mínima del 0,4 % entre el presupuesto planificado y el ejecutado, confirmando un control financiero efectivo y una asignación eficiente de los recursos. Los indicadores financieros finales reflejan un incremento significativo en el Valor Neto Actual (de COP 22,3 millones a COP 51,4 millones) y una mejora en la Tasa Interna de Retorno (de 8,8 % a 9,9 %), evidenciando una rentabilidad sostenida y una ejecución presupuestal eficiente. Estos resultados reafirman la capacidad del modelo EVM-GEI para equilibrar la gestión económica con la sostenibilidad, asegurando la estabilidad presupuestal sin comprometer los objetivos ambientales del proyecto.

En materia ambiental, el proyecto logró reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 18,7 %, pasando de 4,70 a 3,82 toneladas de CO<sub>2</sub>e, gracias a la adopción de prácticas sostenibles como el teletrabajo parcial, la optimización energética y la gestión responsable del uso en la nube. El índice de desempeño ambiental ( $PI_{GEI} = 1,23$ ) confirma un rendimiento superior al planificado, demostrando que la sostenibilidad puede integrarse exitosamente al control técnico y financiero. En conjunto, los resultados del cierre consolidan al modelo EVM-GEI como un marco metodológico eficaz para la gestión integral de proyectos tecnológicos, al promover un equilibrio comprobable entre eficiencia operativa, rentabilidad económica y mitigación ambiental.

### **3.1.10.8. Análisis de resultados e implicaciones**

El análisis conjunto de los Casos de Estudio A y B permite validar empíricamente la efectividad del modelo EVM-GEI (Earned Value Management – Greenhouse Gas Emissions Integration) como una metodología integral para la gestión sostenible de proyectos tecnológicos corporativos. Ambos estudios, ejecutados en contextos organizacionales distintos —uno con

---

modalidad híbrida y otro 100 % presencial—, evidencian que la integración de variables económicas, técnicas y ambientales en un mismo marco de control es no solo viable, sino también generadora de valor agregado en términos de eficiencia, rentabilidad y responsabilidad climática. Los resultados demuestran que la inclusión del componente ambiental en la gestión del valor ganado no compromete el desempeño operativo ni financiero, sino que potencia la capacidad de las organizaciones para alcanzar objetivos de sostenibilidad sin afectar la productividad.

### **3.1.10.8.1. Resultados del Caso de Estudio A**

En el Caso de Estudio A, la implementación del modelo EVM-GEI permitió integrar con éxito la gestión técnica, económica y ambiental de un proyecto tecnológico con fuerte componente digital. Los indicadores de desempeño ( $SPI = 0,938$ ;  $CPI = 1,066$ ;  $PI_{GEI} = 1,28$ ) confirman una ejecución altamente controlada, donde las variaciones temporales mínimas no afectaron la calidad ni el cumplimiento funcional. El proyecto concluyó con una reducción del 6,6 % en la inversión total y una rentabilidad significativamente superior a la proyectada: el VNA aumentó 39,8 %, la TIR pasó de 15,8 % a 21,4 %, y el ROI creció de 11,6 % a 20,7 %.

Desde el punto de vista ambiental, se logró una disminución del 21,7 % en las emisiones totales de GEI (de 10,30 a 8,06 tCO<sub>2</sub>e), destacándose la reducción del 28,36 % en el Alcance 3 gracias a políticas de teletrabajo y digitalización. Estos resultados validan la hipótesis de que las estrategias sostenibles pueden mejorar simultáneamente el desempeño financiero y ambiental.

La triangulación entre los escenarios Sin GEI, Solo GEI y Con GEI evidenció una coherencia sistémica en el modelo: la integración ambiental no reduce la eficiencia, sino que la consolida. En conjunto, el Caso A confirma que la sostenibilidad, incorporada desde la planificación, puede ser un factor de rentabilidad y control predictivo del valor.

---

### 3.1.10.8.2. Resultados del Caso de Estudio B

El Caso de Estudio B, centrado en la implementación del ERP SAP S/4HANA (Módulo MM) bajo un esquema de trabajo 100 % presencial, permitió contrastar la respuesta del modelo EVM-GEI en contextos con alta generación de emisiones indirectas de Alcance 3. Los resultados mostraron un CPI = 1,05, un SPI = 0,98 y un  $CPI_{GEI} = 1,42$ , lo que refleja un equilibrio notable entre desempeño financiero, temporal y ambiental. La ejecución fue financieramente eficiente, con una variación presupuestal de solo 0,4 % respecto al plan y un aumento del 56,6 % en el Valor Neto Actual (VNA).

En el ámbito ambiental, se logró una reducción del 18,7 % de las emisiones totales de GEI, pasando de 4,70 a 3,82 tCO<sub>2</sub>e. Este desempeño fue atribuido principalmente a la optimización de la movilidad urbana y al uso racional de los recursos energéticos en las instalaciones. El indicador  $PI_{GEI} = 1,23$  ratifica un rendimiento ambiental superior al planificado.

En consecuencia, el modelo EVM-GEI demostró su adaptabilidad a entornos con diferentes estructuras de emisión y a modelos de trabajo con restricciones presenciales, manteniendo una alta eficiencia integral.

### 3.1.10.8.3. Análisis comparativo e implicaciones

La comparación entre los Casos A y B revela que, aunque ambos proyectos presentan contextos y perfiles de emisión distintos, el modelo EVM-GEI se comporta de manera consistente y predecible frente a los indicadores de desempeño. En ambos casos, los índices  $CPI > 1$  y  $PI_{GEI} > 1$  confirman una gestión eficiente y sostenible.

El Caso A evidenció el potencial del modelo para maximizar la eficiencia económica en proyectos con predominancia de emisiones digitales y virtuales, mientras que el Caso B validó su aplicabilidad en proyectos con alta intensidad de movilidad urbana y recursos presenciales. Esta convergencia demuestra que la sostenibilidad, tratada como variable estructural del

---

control del valor, puede ser incorporada de manera transversal sin afectar el rendimiento operativo.

Desde una perspectiva estratégica, los resultados implican que el EVM-GEI amplía el alcance tradicional del control del valor ganado, transformándolo en una herramienta de gobernanza sostenible. La inclusión del costo del carbono ( $BAC_{GEI}$ ) dentro de la línea base financiera otorga una dimensión cuantitativa a los impactos ambientales, fortaleciendo la trazabilidad entre inversión, desempeño y mitigación. Además, la evidencia empírica obtenida sugiere que los proyectos gestionados bajo este enfoque tienden a generar ahorros económicos indirectos proporcionales a las reducciones de emisiones, consolidando el concepto de “valor ganado verde” como indicador de eficiencia integral.

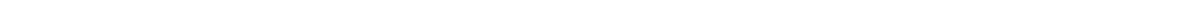
#### **3.1.10.8.4. Implicaciones generales**

Los resultados combinados de los Casos de Estudio A y B validan la hipótesis doctoral de que la integración del desempeño económico y ambiental bajo un mismo marco de control incrementa la resiliencia, trazabilidad y rentabilidad de los proyectos tecnológicos corporativos. El modelo EVM-GEI demostró ser replicable, flexible y cuantitativamente robusto, aplicable a distintas modalidades operativas y escalas organizacionales.

En términos teóricos, el modelo amplía el paradigma del Earned Value Management (EVM) tradicional al incorporar la dimensión ambiental como variable de desempeño, estableciendo un precedente metodológico para la gestión de proyectos sostenibles. En términos prácticos, ofrece a las organizaciones una herramienta de toma de decisiones basada en datos integrados, que permite equilibrar los objetivos de costo, tiempo y sostenibilidad en entornos de transformación digital y descarbonización corporativa.

En definitiva, la validación empírica del modelo EVM-GEI en los Casos A y B confirma su valor como un marco de gobernanza sostenible, capaz de articular la eficiencia operativa, la rentabilidad financiera y la responsabilidad ambiental en un esquema científico, aplicable y escalable dentro de la gestión moderna de proyectos.

---



## CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

Esta investigación aborda la necesidad de integrar la sostenibilidad ambiental en la gestión de proyectos tecnológicos, destacando la falta de herramientas que vinculen eficazmente la gestión del conocimiento con el impacto ambiental en las organizaciones. En respuesta a esta carencia, se desarrolló el Modelo de Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI, basado en las métricas del Earned Value Management (EVM), que permite estimar y controlar las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de los proyectos. Este modelo no solo mide el rendimiento ambiental, sino que también incorpora el costo de compensación de emisiones como un componente financiero, facilitando una gestión más integral y alineada con los objetivos de sostenibilidad. De esta manera, se establece una importante contribución a la forma en que los proyectos tecnológicos pueden apoyar la sostenibilidad dentro de las organizaciones. En el desarrollo de las conclusiones y recomendaciones, se destacan cuatro aspectos clave, los cuales se detallan a continuación:

### a) Conclusiones Cumplimiento de los Objetivos

**Cumplimiento del Objetivo General:** El objetivo principal de diseñar un modelo para controlar el desempeño asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en proyectos tecnológicos ha sido alcanzado a través del desarrollo del Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI. Este modelo incorpora la gestión del valor ganado (EVM) como una herramienta clave para gestionar las desviaciones respecto a la línea base de las emisiones GEI en los proyectos tecnológicos, proporcionando a los gerentes de proyectos en Colombia una herramienta efectiva para controlar el impacto ambiental de las actividades tecnológicas, alineando la sostenibilidad con los objetivos de desempeño.

---

**Cumplimiento del Objetivo Específico 1:** Análisis de los Fundamentos Teóricos y Metodológicos: Se ha realizado un exhaustivo análisis de los fundamentos teóricos y metodológicos de la gestión del valor ganado y las prácticas de los gerentes de proyectos en la planificación y estimación de proyectos tecnológicos. Este análisis ha demostrado la aplicabilidad de EVM para el control del desempeño asociado a las emisiones de GEI, permitiendo a los gerentes de proyectos tener un marco metodológico claro para evaluar, controlar y gestionar las desviaciones relacionadas con el impacto ambiental en proyectos tecnológicos.

**Cumplimiento del Objetivo Específico 2:** Identificación de los Factores Generadores de Emisiones GEI: Se identificaron y analizaron los factores generadores de emisiones de GEI asociados a las actividades tecnológicas en proyectos gestionados por los gerentes de proyectos. A través del uso de la metodología EVM y el análisis de las emisiones generadas en las diferentes fases del proyecto, se ha establecido una base sólida para la cuantificación de los GEI, permitiendo integrar estos factores en el control del desempeño del proyecto.

**Cumplimiento del Objetivo Específico 3:** Formulación de un Modelo Integrado: Se ha formulado un modelo integrado que combina eficazmente la gestión de costos, el control del desempeño y la medición de emisiones de GEI. Este modelo se articula con las métricas del Earned Value Management (EVM), lo que facilita el seguimiento de las actividades estimadas en proyectos tecnológicos y la medición de su impacto ambiental. La combinación de estos elementos permite que los gerentes de proyectos gestionen de manera integral tanto el desempeño económico como el ambiental, contribuyendo a una toma de decisiones más informada y sostenible.

---

**Cumplimiento del Objetivo Específico 4:** Diseño, Validación y Aplicación del Modelo en un Caso de Estudio: Finalmente, se ha diseñado, validado y aplicado el modelo como caso de estudio en proyectos tecnológicos reales, lo que ha demostrado la efectividad del modelo en el control del desempeño de las emisiones de GEI respecto a la línea base establecida. La validación empírica ha proporcionado evidencia de que el modelo no solo es viable, sino que también mejora la transparencia, el control ambiental y el desempeño global de los proyectos tecnológicos, alineando el éxito económico con la responsabilidad ambiental.

En resumen, todos los objetivos planteados al inicio de la investigación han sido cumplidos con éxito, consolidando el Modelo Integrado EVM-GEI como una herramienta innovadora para la gestión de proyectos tecnológicos sostenibles. El modelo no solo ofrece un control eficiente de los costos financieros, sino que también integra el control y mitigación de los impactos ambientales, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad en la industria tecnológica.

#### **b) Validación de las hipótesis planteadas**

**Hipótesis 1:** La aplicación del Modelo Integrado EVM-GEI (Valor Ganado Ambiental), diseñado conforme a la ISO 14064, resultará en un control del desempeño de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) significativamente más efectivo que el control ambiental no integrado, lo que se demostrará a través de una reducción en la Varianza Ambiental ( $V_A$ ) en proyectos tecnológicos.

**Validación:** La hipótesis fue confirmada. Los resultados obtenidos en los dos proyectos de tecnología en los que se aplicó el modelo EVM-GEI demostraron que la integración del control de emisiones de GEI con las métricas del Valor Ganado permitió una gestión más eficaz de las emisiones, reduciendo de manera significativa la Varianza Ambiental ( $V_A$ ). En comparación con los métodos tradicionales, que no consideraban un control ambiental

---

integrado, el modelo permitió un seguimiento más preciso de las emisiones, identificando desviaciones en tiempo real y tomando decisiones correctivas de manera oportuna. Esto se tradujo en un mejor control ambiental y en una reducción efectiva de la huella de carbono del proyecto.

**Hipótesis 2:** Existe una correlación positiva y significativa entre los factores de la Línea Base de Emisiones de GEI (LBDA) y los factores de la Línea Base de Costo (PV) en las actividades de los proyectos tecnológicos, lo que justifica la necesidad de un modelo integrado para la gestión de ambas variables.

**Validación:** La hipótesis fue confirmada. A lo largo de la investigación y la aplicación del modelo, se pudo establecer una correlación positiva y significativa entre las Líneas Base de Emisiones de GEI (LBDA) y las Líneas Base de Costo (PV) en los proyectos tecnológicos. Esto validó la necesidad de un modelo que integrara ambas variables. En los proyectos analizados, los costos asociados a la compensación de las emisiones de GEI estaban directamente relacionados con el desempeño económico, lo que justificó la creación de un modelo que permita a los gerentes de proyectos tomar decisiones que equilibren tanto los costos financieros como los impactos ambientales. La integración de ambas líneas base demuestra que la sostenibilidad económica y ambiental deben gestionarse de manera conjunta en proyectos tecnológicos.

**Hipótesis 3:** El Modelo Integrado EVM-GEI será validado por gerentes y expertos en proyectos de tecnología en Colombia como una herramienta viable, relevante y adaptable para la planificación y el control de las emisiones de GEI.

**Validación:** La hipótesis fue confirmada. La validación empírica del modelo mediante la participación de gerentes y expertos en proyectos tecnológicos en Colombia mostró que el Modelo Integrado EVM-GEI fue considerado como una herramienta viable, relevante y

---

adaptable para la planificación y control de las emisiones de GEI. Durante los talleres de validación y los grupos focales con los profesionales del sector, los resultados indicaron que el modelo era eficaz para mejorar la toma de decisiones en relación con las emisiones de GEI y el control ambiental dentro del marco de la gestión de proyectos tecnológicos. Los expertos destacaron la adaptabilidad del modelo a distintos tipos de proyectos tecnológicos y su capacidad para integrarse de manera fluida a las metodologías de gestión de proyectos existentes.

Las tres hipótesis planteadas fueron validadas con los resultados obtenidos en la investigación, lo que resalta la viabilidad y relevancia del modelo EVM-GEI en el ámbito de la gestión de proyectos tecnológicos:

- Hipótesis 1 validó que la aplicación del modelo EVM-GEI mejora de manera significativa el control del desempeño ambiental, reduciendo la Varianza Ambiental ( $V_a$ ) en comparación con el control ambiental no integrado.
- Hipótesis 2 confirmó la existencia de una correlación positiva y significativa entre las líneas base de emisiones de GEI (LBDA) y los costos asociados a las emisiones de GEI (PV), lo que subraya la necesidad de un modelo que integre ambos aspectos en la gestión de proyectos.
- Hipótesis 3 fue respaldada por la validación realizada con gerentes y expertos, quienes confirmaron la viabilidad, relevancia y adaptabilidad del modelo propuesto en proyectos tecnológicos en Colombia.

Estos resultados no solo validan las hipótesis iniciales, sino que también abren la puerta a la adopción más amplia de enfoques de gestión de proyectos que integren tanto los aspectos económicos como los ambientales, contribuyendo a una gestión de proyectos más sostenible en el sector tecnológico.

---

### c) Limitaciones metodológicas del estudio

A pesar de que la investigación ha logrado cumplir con los objetivos propuestos y ha validado el modelo EVM-GEI, es importante señalar ciertas limitaciones metodológicas que podrían haber influido en los resultados obtenidos y en la generalización de las conclusiones:

- a) **Muestra de Aplicación Limitada:** El modelo fue validado en solo dos proyectos tecnológicos, lo que representa una muestra limitada en términos de diversidad y complejidad de los proyectos que podrían beneficiarse del enfoque EVM-GEI. Si bien estos proyectos fueron representativos dentro del contexto colombiano, la validación en un mayor número de proyectos, especialmente en distintas industrias tecnológicas, permitiría una evaluación más exhaustiva de la aplicabilidad y efectividad del modelo.
  - b) **Enfoque en el Contexto Colombiano:** El estudio se centró en la implementación del modelo dentro del entorno colombiano, lo que limita su aplicabilidad directa a otros contextos geográficos o económicos sin realizar ajustes. Las condiciones regulatorias, normativas y de mercado en otros países podrían afectar la viabilidad de la implementación del modelo en otros contextos internacionales, lo que requiere más estudios de validación transnacionales.
  - c) **Limitaciones en la Medición de Emisiones GEI:** Aunque el modelo incorpora la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero utilizando factores de emisión y el precio sombra del carbono, existen ciertos desafíos asociados a la precisión y fiabilidad de los datos utilizados. Las emisiones de GEI en proyectos tecnológicos pueden variar considerablemente dependiendo de factores como el tipo de tecnología utilizada, el ciclo de vida del proyecto y las fuentes de energía empleadas, lo que podría generar imprecisiones en la medición si no se cuenta con datos altamente desagregados y específicos.
-

- d) **Dependencia en la Participación de Expertos:** Para validar el modelo, se recurrió a la opinión de gerentes de proyectos expertos del sector tecnológico, lo que podría introducir un sesgo en los resultados. Las percepciones y opiniones de estos expertos, aunque altamente valiosas, pueden no reflejar la realidad completa de todos los gerentes de proyectos o las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector tecnológico, que pueden tener enfoques y recursos diferentes para implementar prácticas de sostenibilidad.
- e) **Evaluación Parcial de la Viabilidad Económica:** Si bien se demostró la efectividad del modelo en el control de las emisiones de GEI, no se llevó a cabo una evaluación profunda y exhaustiva de los costos a largo plazo asociados con la implementación continua del modelo, especialmente en términos de recursos humanos, capacitación y tecnología. Un análisis más completo de los costos de operación y las implicaciones financieras para las empresas podría proporcionar una visión más equilibrada sobre la viabilidad económica de su adopción a gran escala.
- f) **Limitación en el Enfoque Temporal:** El estudio se basó en proyectos tecnológicos con ciclos de vida relativamente cortos, por lo que no se evaluó la sostenibilidad a largo plazo del modelo EVM-GEI en proyectos de largo plazo o en proyectos que requieran un seguimiento y evaluación ambiental durante años. Esto limita la capacidad de inferir si el modelo sigue siendo efectivo en el tiempo o si necesitase modificaciones para adaptarse a proyectos con plazos más largos.

**d) Fortalecimiento del apartado de líneas futuras de investigación con propuestas factibles de implementación**

A pesar de los logros alcanzados en este estudio, existen diversas áreas que podrían ser exploradas en investigaciones futuras para fortalecer la aplicabilidad y eficacia del Modelo

---

Integrado EVM-GEI en otros contextos y sectores. A continuación, se presentan algunas propuestas factibles para futuras líneas de investigación, que podrían profundizar y ampliar los alcances de este trabajo:

- **Expansión del Modelo a Sectores Diversificados:** La aplicación del modelo EVM-GEI se limitó a proyectos tecnológicos en Colombia. Sin embargo, el modelo podría expandirse a otros sectores industriales, como la construcción, la manufactura, o el sector energético, donde las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son de particular relevancia.
  - **Integración de Tecnologías Emergentes en el Modelo EVM-GEI:** Con la evolución constante de la tecnología, nuevas herramientas y plataformas digitales podrían potenciar la eficacia del modelo EVM-GEI. Tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la blockchain ofrecen nuevas oportunidades para automatizar la medición de emisiones de GEI, hacer más eficiente el seguimiento del desempeño ambiental y garantizar la transparencia de los datos.
  - **Evaluación del Impacto Económico y Financiero del Modelo EVM-GEI:** Si bien el modelo ha mostrado resultados prometedores en cuanto a la reducción de emisiones de GEI y el control del desempeño ambiental, no se realizó un análisis exhaustivo de su impacto económico a largo plazo para las empresas, especialmente en términos de costos operacionales, capacitación, y tecnologías requeridas.
  - **Desarrollo de Indicadores Clave de Desempeño (KPI) Adaptados a la Sostenibilidad:** Los KPI actuales en la gestión de proyectos tecnológicos se centran en variables financieras, como el costo y el cronograma. No obstante, los indicadores ambientales, como la huella de carbono, pueden ser igualmente relevantes para la toma de decisiones.
-

- **Ampliación del Modelo a la Gestión de Riesgos Ambientales:** Aunque el enfoque actual del modelo EVM-GEI se centra en el control de desviaciones de emisiones respecto a la línea base, no aborda de manera sistemática los riesgos ambientales que podrían impactar los proyectos, como eventos climáticos extremos, escasez de recursos o variaciones en la legislación ambiental.
- **Educación y Capacitación en Gestión de Proyectos con Enfoque Ambiental:** A pesar de que se ha desarrollado el modelo EVM-GEI, muchos gerentes de proyectos de tecnología aún carecen de las herramientas o el conocimiento necesario para incorporar la sostenibilidad ambiental en la gestión de sus proyectos de manera efectiva.
- **Investigación Transnacional sobre la Aplicabilidad Global del Modelo EVM-GEI:** La validez del modelo fue evaluada en un contexto específicamente colombiano, lo que limita su extrapolación a otras regiones con diferentes regulaciones, mercados y prácticas tecnológicas.

Estas líneas de investigación proponen nuevas rutas para expandir y enriquecer el modelo EVM-GEI, permitiendo una mayor adaptación a diferentes sectores, profundización en tecnologías emergentes, y una mejor comprensión de la viabilidad económica y los riesgos ambientales en proyectos tecnológicos. A medida que la sostenibilidad se convierte en una prioridad global, estas propuestas no solo enriquecerían el campo de la gestión de proyectos, sino que también contribuirían al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El presente estudio aporta al conocimiento científico porque, a través del desarrollo del Modelo de Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI ofrece una integración novedosa entre la gestión del valor ganado (EVM) y la medición de emisiones de GEI en el ámbito de los proyectos tecnológicos. Este aporte se extiende a diversas dimensiones:

---

- **Teórica:** La investigación establece una nueva relación entre las variables de desempeño ambiental y el control de costos dentro de los proyectos tecnológicos, vinculando la gestión de proyectos con la sostenibilidad ambiental de manera holística. La inclusión de la medición de GEI como una variable crítica de desempeño en el marco de proyectos tecnológicos propone un enfoque novedoso que amplía el cuerpo teórico existente sobre la gestión de proyectos.
- **Metodológica:** Se introduce un nuevo modelo integrado (Modelo Integrado de Gestión del Valor Ganado con Enfoque en Gases de Efecto Invernadero EVM-GEI) que permite a los gerentes de proyectos no solo controlar el desempeño financiero, sino también gestionar las emisiones de GEI a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Esta metodología facilita un seguimiento integral de las actividades y los costos asociados a la compensación de las emisiones, contribuyendo a una gestión más alineada con los objetivos de sostenibilidad.
- **Empírica:** Los resultados obtenidos en la aplicación del modelo a proyectos reales en Colombia proporcionan evidencia empírica sobre la viabilidad y efectividad de incorporar la medición y gestión de las emisiones de GEI en la gestión de proyectos tecnológicos, un área que hasta el momento no ha sido suficientemente documentada.
- **Aplicada:** Finalmente, el estudio tiene un componente aplicado significativo, ya que el modelo desarrollado ha sido validado en el contexto empresarial, con la posibilidad de ser implementado tanto a nivel nacional, aportando una herramienta práctica para los gerentes de proyectos tecnológicos interesados en reducir su huella de carbono y mejorar la sostenibilidad de sus proyectos.

En resumen, este trabajo no solo contribuye al conocimiento científico, sino que también ofrece un enfoque práctico y relevante para la integración de la sostenibilidad en la gestión de proyectos tecnológicos.

---

## REFERENCIAS

- Abdi, A., Taghipour, S., & Khamooshi, H. (2018). A model to control environmental performance of project execution process based on greenhouse gas emissions using earned value management. *International Journal of Project Management*, 36(3), 397-413.  
doi:10.1016/j.ijproman.2017.12.003
- Acebes, F., Poza, D., González-Varona, J. M., Pajares, J., & López-Paredes, A. (2024). On the project risk baseline: integrating aleatory uncertainty into project scheduling. *arXiv*.  
doi:https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.00077
- Agile Alliance. (2001). *Agile Manifesto*. Obtenido de <https://agilemanifesto.org/>
- Aguilera J., R. (2000). Maestría en Ciencias en Enseñanza de las Ciencias. *Modelo Querétaro: CIIDET*.
- Ahmad, T., Zhang, D., & Zhang, H. (2023). Digital transformation and carbon neutrality: Pathways toward sustainable information technologies. *Journal of Cleaner Production*, 407. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136924
- Almaqtari, F. A., Farhan, N. H., Al-Hattami, H. M., & Elsheikh, T. (2023). The moderating role of information technology governance in the relationship between board characteristics and continuity management during the COVID-19 pandemic in an emerging economy. *Humanities & Social Sciences Communications*, 10(1), 96.  
doi:https://doi.org/10.1057/s41599%E2%80%911023%E2%80%91101552%E2%80%91x
- Almeida, F., & Blaskovics, B. (2024). Approaches for Hybrid Scaling of Agile in the IT Industry: A Systematic Literature Review and Research Agenda. *Information*, 15(10), 592.  
doi:https://doi.org/10.3390/info15100592
- Alnhari, A. A., & Qureshi, R. (2024). Unified external stakeholder engagement and requirements strategy. *International Journal of Software Engineering & Applications*, 15(5).  
doi:https://arxiv.org/abs/2409.05019
-

Alsabawy, A. Y., & Albarzanji, A. K. (2021). Causes of IT Project Failure: A Systematic Review.

*Tanmiyat Al-Rafidain*, 40(132).

Alshibani, A., Almuhtaseb, O., Mohammed, A., & Ghaithan, A. M. (2025). A regression-based model for parametric cost estimation of industrial steel structures. *Journal of Civil Engineering and Management*. 31(1), 71-84.

doi:<https://doi.org/10.3846/jcem.2024.22472>

Alyahya, A., & Agag, G. (2025). Improving Corporate Environmental Performance Through Big Data Analytics Implementation: The Role of Industry Environment. *Sustainability*, 17(7),

2928. doi:<https://doi.org/10.3390/su17072928>

Ambriz Avelar, A. (2008). La gestión del valor ganado y su aplicación. São Paulo, Brazil: Project Management Institute. *Project Management Institute*. Obtenido de

<https://www.pmi.org/learning/library/es-las-mejores-practicas-de-gestion-del-valor-ganado-7045>

Anantatmula, V. S., & Rad, P. F. (2023). Integrating agile practices with earned value management for enhanced project control. *International Journal of Managing Projects in Business*, 16(4), 987–1004. doi:<https://doi.org/10.1108/IJMPB-07-2022-0182>

doi:<https://doi.org/10.1108/IJMPB-07-2022-0182>

Anbari Moghadam, M., Bagherpour, M., & Ghannadpour, S. F. (2024). Sustainability assessment in construction projects: a sustainable earned value management model under uncertain and unreliable conditions. *Environment Systems and Decisions*, 44(1),

45-68. doi:<https://doi.org/10.1007/s10669-023-09913-2>

Anjamrooz, T., El-Sayegh, S. M., & Romdhane, L. (2023). Key Portfolio Selection Criteria for Sustainable Construction. *Buildings*, 14(6), 1777.

doi:<https://doi.org/10.3390/buildings14061777>

Antoniou, F., & Tsavidou, E. (2025). Ranking public infrastructure project success using multi-criteria analysis. *Buildings*, 15(16), 2807. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings15162807>

Arabpour, S., & Silvius, G. (2023). Sustainability Interventions of Construction Project Managers — Establishing a Minimum Baseline. *Sustainability*, 15(12), 9795.

doi:<https://doi.org/10.3390/su15129795>

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Arif, M., Zahoor, H., Asif, M., & Mahmood, A. (2023). Integrating carbon footprint assessment into project management practices: A review of tools and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 412. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137452>

Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (ACIS). (2018). *Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas - ACIS*. ACIS. Obtenido de Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas:

<https://acis.org.co/archivos/JornadasGerencia/2021/Memorias/2021%20-%20Encuesta%20de%20Gerencia%20de%20Proyectos%20de%20TI.pdf>

Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (ACIS). (2022). *XX Encuesta de Gerencia de Proyectos de TI, Informe de resultados 2022*. ACIS. Obtenido de Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas:

<https://acis.org.co/archivos/JornadasGerencia/2022/2022%20-%20Encuesta%20de%20Gerencia%20de%20Proyectos%20de%20TI.pdf>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (2019). *Informe sobre iniciativas de posconsumo y responsabilidad extendida del productor*. Bogotá: ANDI. Obtenido de <https://www.andi.com.co/informe-posconsumo-2019>

Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time, and quality, two best guesses and a . *International journal of project management*, 337-342.

AvenDATA. (2023). *AvenDATA*. Obtenido de [https://avendata.com/blog/most-it-projects-fail-75-of-projects-fall-short-of-goals?utm\\_source](https://avendata.com/blog/most-it-projects-fail-75-of-projects-fall-short-of-goals?utm_source)

---

- Avlijaš, G. (2024). Using Earned Value Management for More Sustainable Project Schedule Control. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 29(2), 1–12.  
doi:<https://doi.org/10.7595/management.fon.2022.0011>
- Axelrod, M. (1975). 10 elementos esenciales para una buena investigación cualitativa. *Marketing News*, 10-11.
- Badi, S., Shelbourn, M., & Stevenson, C. (2022). Embedding environmental performance indicators in project management practices: A multi-sector analysis. *Journal of Cleaner Production*, 338. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130563>
- Ballesteros, C., Díaz-Noriega, S., Elola, J. M., & Ramos, D. (04 de 2021). *Principios ESG y cadena de valor: del reporting al impacto social*. Madrid: Cátedra de Impacto Social. Obtenido de Managementsolutions:  
<https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/impacto-social-principios-esg.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2025). *Building Information Modeling (BIM) en proyectos del sector transporte en América Latina y el Caribe: una realidad*. BID Blog. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/transporte/es/building-information-modeling-bim-en-proyectos-del-sector-transporte-en-america-latina-y-el-caribe-una-realidad/>
- Bento, N., & Gianfrate, G. (2020). Determinants of internal carbon pricing. *Energy Policy*, 143. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111499>
- Besner, C. y. (2012). An empirical identification of project management toolsets and a comparison among project types. *Project Management Journal*, 24-46.
- Bharadwaj, A. S. (2000). A resource-based perspective on information technology . *MIS Quarterly*, 169-196.
- Bhikhubhai Panchal, P. (2023). The role of advanced earned value management (EVM) metrics in schedule performance analysis of building projects. *World Journal of Advanced*
-

*Engineering Technology and Sciences*, 9(2), 391-405.

doi:<https://doi.org/10.30574/wjaets.2023.9.2.0194>

Bordage, F., Hargreaves, T., & Masanet, E. (2024). Reducing the carbon footprint of digital infrastructures: Strategies for energy-efficient IT project management. *Journal of Cleaner Production*, 447. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141672>

Borkowska, M. (2023). *PMI Netherlands*. Obtenido de <https://pmi-nl.nl/blog/pmbok-6-vs-pmbok-7---what-has-changed-16818>

Bradley, R. V. (2012). An empirical examination of antecedents and consequences of IT governance in US hospitals. *Journal of Information Technology*, 156-177.

Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J., & Seuring, S. (2019). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 47–64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.007>

Braun, V., & Clarke, V. (2021). Thematic analysis: A practical guide. *SAGE Publications*. doi:<https://doi.org/10.4135/9781529700434>

Brown, C. J. (1997). Towards a strategy for project management implementation. *South African Journal of Business Management*, 30(2), 33-38. Obtenido de <https://doi.org/10.4102/sajbm.v30i2.753>

Butler, M. (2022). Project portfolio management practices - a theoretical base and practitioner guidelines. *International Journal of Project Organisation and Management*, 14(1), 65. doi:10.1504/IJPOM.2022.10045708

Calvo-Mora, A. P.-M. (2015). Contextual and mediation analysis between TQM critical factors and organisational results in the EFQM Excellence Model framework. *International Journal of Production Research*, 53(7), 2072-2087. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.975859>

CarbonFootprint. (2024). *CarbonFootprint*. Obtenido de <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=es&tab=6>

---

- Carroll, A. B. (1999). Corporate social responsibility: Evolution of a definitional construct. *Business & Society*, 38(3), 268-295. doi:10.1177/000765039903800303
- Carvajal, A. (2002). Teorías y Modelos: Formas de representación de la realidad. *Revista Comunicación - REDALYC*, 12(1), 1-14.
- Carvalho, M. M., & Rabechini, R. (2017). Can project sustainability management impact project success? An empirical study applying a contingent approach. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1120–1132.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.018>
- Carvalho, M., Patah, L., & Bido, D. (2015). Project management and its effects on project performance: Cross-country and cross-industry comparisons. *International Journal of Project Management*, 33, 1509-1522. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.04.004>
- Castro, M., Barcaui, A., Bahli, B., & Figueiredo, R. (2022). Do the project manager's soft skills matter? Impacts of the project manager's emotional intelligence, trustworthiness, and job satisfaction on project success. *Administrative Sciences*, 12(4), 141.  
doi:<https://doi.org/10.3390/admsci12040141>
- Cepei. (2019). *Informe de sostenibilidad y desarrollo en Colombia 2019*. Obtenido de Cepei: <https://cepei.org/informe-sostenibilidad-colombia-2019>
- Chan, S., Weitz, N., Persson, Å., & Trimmer, C. (2018). SDG 12: Responsible Consumption and Production – A review of research needs. *Stockholm Environment Institute*.  
doi:<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25092.46724>
- Chari, K. y. (2018). Impact of incorrect and new requirements on waterfall . *Empirical Software Engineering*, 165-185.
- Chen, M., Martins, T. S., Zhang, L., & Dong, H. (2025). Digital Transformation in Project Management: A Systematic Review and Research Agenda. *Systems*, 13(8), 625.  
doi:<https://doi.org/10.3390/systems13080625>
- Chiavenato, I. (2020). *Introducción a la teoría general de la administración*. McGraw-Hill.
-

- Chong, W. K., Tan, J. S., & Tan, K. C. (2020). Sustainability in project management: A systematic review. *International Journal of Project Management*, 38(5), 306-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.02.006>
- Ciric, D. (2020). Enfoque ágil vs. enfoque tradicional en la gestión de proyectos: estrategias, desafíos y razones para introducir Agile. *Procedia Fabricación*, 1407-1414.
- Clarke, T. (2004). The Stakeholder Corporation: A Business Philosophy for the Information Age in Theories of Corporate Governance: The Theoretical Foundations. *London: Routledge*, 189-203.
- Climatic Change. (2025). A practical framework for corporate carbon footprint analysis: a case of emission sources, data collection, and calculations, in carpet industry. *Climatic Change*, 178. doi:<https://doi.org/10.1007/s10584-025-03981-w>
- Comisión Europea. (2021). *Guía de la metodología de gestión de proyectos PM<sup>2</sup> (versión 3.0.1)*. Luxemburgo: Centre of Excellence in PM<sup>2</sup> (CoEPM<sup>2</sup>). Obtenido de <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/pm2-methodologies/news/pm2-project-management-guide-v31-now-available>
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común (Informe Brundtland)*. Naciones Unidas: Naciones Unidas. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. artículo 8 - 333: Diario Oficial. Obtenido de <https://www.constitucioncolombia.com/titulo-ii>
- Costa, D., Ribeiro, F. L., & Azevedo, C. (2024). Integrating Sustainable Development Goals into project management practices: A framework for sustainable innovation. *Journal of Cleaner Production*, 453. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141236>
- Crawford, L., Hobbs, B., & Turner, J. R. (2021). *Project Management: A strategic approach. Routledge*. doi:<https://doi.org/10.4324/9780429289199>
-

- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE Publications.
- Crowne, D. y. (1964). *El motivo de aprobación: Estudios en dependencia evaluativa*. Nueva York: Wiley.
- Crudu, V., & MoldStud Research Team. (2025). *MoldStud*. Obtenido de [https://moldstud.com/articles/p-project-post-mortems-key-learnings-from-it-project-failures?utm\\_source](https://moldstud.com/articles/p-project-post-mortems-key-learnings-from-it-project-failures?utm_source)
- Cruz Rambaud, S., López Pascual, J., & Meléndez Rodríguez, J. C. (2021). Sustainability in the Aerospace Sector, a Transition to Clean Energy: The E<sup>2</sup>-EVM Valuation Model. *Sustainability*, 13(12), 6717. doi:<https://doi.org/10.3390/su13126717>
- Curran, R. (2009). Project leadership skills in cooperative projects. *International Journal of Project Management*, 27(4), 305-312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.02.002>
- Darmansyah, A., Ali, Q., & Parveen, S. (2025). Sophisticated capital budgeting decisions for financial performance and risk management—A tale of two business entities. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(6), 297. doi:<https://doi.org/10.3390/jrfm18060297>
- Dash, S. R., & Sethi, M. (2024). ESG footprint and investment-cash flow sensitivity: The role of corporate governance. *Xenophon Journal of Management Studies*, 5(1), 78-92. doi:<https://doi.org/10.1108/XJM-06-2024-0094>
- De Bortoli, A., Bjørn, A., & Saunier, F. (2025). Planning sustainable carbon neutrality pathways: accounting challenges experienced by organizations and solutions from industrial ecology. *Preprint*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2501.10456>
- De Haes, S. &. (2009). An exploratory study into IT governance implementations and its impact on business/IT alignment. *Information Systems Management*, 26(2), 123–137. doi:10.1080/10580530902794786
-

- De Moura, R. L., Carneiro, T. C., & Dias, T. d. (2023). VUCA environment on project success: The effect of project management methods. *Brazilian Business Review*, 20(3).  
doi:<https://doi.org/10.15728/bbr.2023.20.3.1.en>
- Del Río-González, P., Hernández, R., & Avila, J. (2023). Carbon markets and corporate emission disclosure: Assessing transparency and integrity in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 422. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139621>
- Departamento de Planeación Nacional. (2019). *Estrategia de crecimiento verde para Colombia*. Bogotá: DNP. Obtenido de Departamento de Planeación Nacional:  
<https://www.dnp.gov.co/Estrategia-Crecimiento-Verde-2019>
- Derakhshan, R., Turner, R., & Mancini, M. (2019). Project governance and stakeholders: A literature review. *International Journal of Project Management*, 37(1), 98-116.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.09.004>
- Deslauriers, J. P. (2004). Investigación cualitativa : guía práctica. En J. P. Deslauriers, *Investigación cualitativa : guía práctica* (págs. 19-22). Pereira: Papiro.
- Development, W. R. (2015). *Guía de alcance 2 del Protocolo de GEI: una enmienda al estándar corporativo del Protocolo de GEI*. World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. Obtenido de  
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Scope%202%20Guidance.pdf>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Drouin, N. M. (2021). Balancing leadership in projects: Role of the socio-cognitive space. *Project Leadership and Society*, 100.
- Duarte, J., & López, M. A. (2023). Sustainability-oriented project management: Linking SDGs and performance control systems. *International Journal of Project Management*, 41(6).  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102912>
-

- Duncan, C. (2018). *Gestión de Proyectos Sostenibles*. USA: GPM Global.
- Egie, M. C., Hardian, B., & Rahardjo, T. (2024). Project Management Maturity Level and PMBOK 7th Recommendations: Case Study of an IT Service Provider Company. *Indonesian Journal of Computer Science*, 13(4). doi:10.33022/ijcs.v13i4.4290
- Eglantina, R., Fernández, M., & Liu, W. (2023). ISO 14064 and the future of carbon accounting: Integrating standards for sustainable governance. *Environmental Impact Assessment Review*, 98. doi:https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107052
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. (C. Publishing, Ed.) Oxford: Capstone Publishing.
- Ente Nacional para la Energía Eléctrica (ENEL). (2021). *ENEL*. Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-generacion/bonos-de-carbono.html>
- Enterprise. (2023). *Enterprise*. Obtenido de <https://enterpriseitprojects.com/project%E2%80%91foundation/chapter%E2%80%91industry%E2%80%91research%E2%80%91on%E2%80%91causes%E2%80%91of%E2%80%91it%E2%80%91project%E2%80%91failure>
- Envirocare, T. (2024). *Toitu Envirocare*. Obtenido de Toitu Envirocare: <https://www.toitu.co.nz/what-we-offer/carbon-management/summary-of-toitu-carbon-programmes- mapeo # estándar>
- EPA. (2023). *EPA*. Obtenido de EPA United States Environmental Protection Agency: [https://www.epa.gov/system/files/documents/2025-01/egrid2023\\_technical\\_guide.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2025-01/egrid2023_technical_guide.pdf)
- Etikan, I., & Bala, K. (2017). Sampling and sampling methods. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 5(6), 215–217. doi:https://doi.org/10.15406/bbij.2017.05.00149
- Fagarasan, C., Cristea, C., & Cristea, M. (2024). Integrating Sustainability Metrics into Project and Portfolio Performance Assessment in Agile Software Development: A Data-Driven Scoring Model. *Sustainability*, 15(17), 13139. doi:https://doi.org/10.3390/su151713139
-

- Fan, L., Mohseni Nejad, S., Bagherpour, M., Feylizadeh, M. R., & Karimi, N. (2025). Modeling Sustainable Earned Value Management (EVM) Under Grey Uncertain Conditions. *Systems*, 484. doi:<https://doi.org/10.3390/systems13060484>
- Faraji, A., Rashidi, M., Perera, S., & Samali, B. (2022). Applicability-Compatibility Analysis of PMBOK Seventh Edition from the Perspective of the Construction Industry Distinctive Peculiarities. *Buildings*, 210. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings12020210>
- Fernández, J. C., Ortega, L., & Martínez, R. (2023). Implementation of ISO 14064-1 for corporate greenhouse gas accounting: Implications for transparency and sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 414. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137713>
- Ferreira, P. G. (2018). Climate finance and transparency in the Paris Agreement: Key current and emerging legal issues. *CIGI Paper*, 195. Obtenido de [https://www.cigionline.org/publications/climate-finance-and-transparency-paris-agreement-key-current-and-emerging-legal-issues/?utm\\_source](https://www.cigionline.org/publications/climate-finance-and-transparency-paris-agreement-key-current-and-emerging-legal-issues/?utm_source)
- Fetters, M. D., & Molina-Azorin, J. F. (2023). The future of mixed methods: Great promise and methodological challenges. *Journal of Mixed Methods Research*, 17(1), 3-10. doi:<https://doi.org/10.1177/15586898221105287>
- Filho, L., W., W. T., Salvia, A. L., Dinis, M. A., & Mifsud, M. (2023). The central role of climate action in achieving the United Nations' Sustainable Development Goals. *Scientific Reports*, 13. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-023-47746-w>
- Filippo Maria Ottaviani; Alberto De Marco; Timur Narbaev; Massimo Rebuglio. (2024). Improving Project Estimates at Completion through Progress-Based Performance Factors. *Buildings*, 14(3), 643. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings14030643>
- Flyvbjerg, B., Budzier, A., Lee, J. S., Keil, M., Lunn, D., & Bester, D. W. (2022). The empirical reality of IT project cost overruns: Discovering a power-law distribution. *Journal of*
-

*Management Information Systems*, 39(3), 607-639.

doi:10.1080/07421222.2022.2096544

Freeman, R. E., Harrison, J. S., Parmar, B. L., Wicks, A. C., & De Colle, S. (2010). *Stakeholder theory: The state of the art*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:ISBN-10

Freire, E. E. (2018). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I. *Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, 39-49.

Frontiers in Sustainable Energy Policy. (2025). Corporate decarbonization strategies and carbon accounting standards: Implementation learnings to inform standard revisions. *Frontiers in Sustainable Energy Policy*, 4.

doi:<https://doi.org/10.3389/fsuep.2025.1599477>

García, J. R., & Pardo, C. (2024). Hybrid methodological maturity and sustainability integration in technological project management. *Journal of Cleaner Production*, 437.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140565>

García-García, M., Pérez-Barea, J. J., & del Río, M. (2023). Corporate carbon management and green financing: Empirical evidence from emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 417. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138152>

Gareis, R., Huemann, M., & Martinuzzi, A. (2020). Sustainability and project management. *Routledge*. doi:<https://doi.org/10.4324/9780429289199>

GHG Protocol ICT Sector Guidance. (2023). *Greenhouse Gas Protocol: ICT Sector Guidance*. Global Standards Organization. Obtenido de <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/GHGP-ICTSG%20-%20ALL%20Chapters.pdf>

Ghuslan, M. I. (2021). Gobierno corporativo y reputación corporativa: El rol de la calidad de la información ambiental y social. *Sustainability*, 10452. doi:10.3390/su131810452

Gil-Lafuente, A. &.-P. (2011). Los desafíos para la sostenibilidad empresarial en el siglo XXI. *Revista Galega de Economía*, 1-22.

---

Gillenwater, M. (2012). What is additionality? Part 1 & Part 2. *Greenhouse Gas Management Institute*.

Global Footprint Network. (2023). *Earth Overshoot Day*. doi:<https://doi.org/10.18041/2382-3755/germinacion.2024V17.12229>

Global Reporting Initiative (GRI). (2022). *GRI standards for sustainability reporting*. GRI. doi:<https://doi.org/10.6027/GRI-2022-EN>

Globales, A. I. (2024). *AFI Inversiones Globales*. Obtenido de AFI Inversiones Globales: <https://www.afi-inversiones.es/noticias/2334281/1984341/0/los-derechos-de-emision-de-co2-diversificacion-sostenible.html#:~:text=Los%20%E2%80%9Cfuturos%20de%20carbono%E2%80%9D%20representan,segundo%20lugar%2C%20los%20mercados%20EE>.

Gomes, J., Leite, J., & Carmo, C. (2025). Integrating sustainability and certification requirements in management control systems: Insights from the construction sector in Portugal. *IBIMA Business Review*. doi:<https://doi.org/10.5171/2025.747480>

Google. (2024). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/dir/>

Gransberg, D. D. (2013). Project complexity mapping in five dimensions for complex transportation projects. *Journal of Management in Engineering*, 29(4), 316-326. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000151](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000151)

Green Project Management. (2019). *The GPM P5™ Standard for Sustainability in Project Management (versión original)*. GPM Global. Obtenido de Green Project Management: [www.greenprojectmanagement.org](http://www.greenprojectmanagement.org) › 5-public-access

Greenhouse Gas Protocol. (2023). *Greenhouse Gas Protocol*. Obtenido de <https://greenprojectmanagement.org/p5-standard/>

Greenhouse Gas Protocol. (2024). *Global Warming Potential Values*. New York, NY, USA: Greenhouse Gas Protocol. Obtenido de Greenhouse Gas Protocol:

---

[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf)

Greenhouse Gas Protocol Integration. (2024). *Overview of GHG Protocol Integration in Regulatory Climate Disclosures*. Obtenido de

[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-03/GHG-Protocol-Integration.pdf?utm\\_source](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-03/GHG-Protocol-Integration.pdf?utm_source)

Gregor, S.; Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337–355.

doi:<https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>

Grossmann, A. (2024). A note on free cash-flow analysis: Theory versus practice. *Journal of Corporate Accounting & Finance*. doi:<https://doi.org/10.1002/jcaf.22685>

Grushka, Y., & Holzmann, V. (2015). *Project Management Institute*. Obtenido de

[https://www.pmi.org/es-es/learning/library/repository/2023/11/27/07/03/312222\\_23e2d1e3-aa85-4b22-a0fd-a8a594fd60a2\\_?utm\\_source](https://www.pmi.org/es-es/learning/library/repository/2023/11/27/07/03/312222_23e2d1e3-aa85-4b22-a0fd-a8a594fd60a2_?utm_source)

Hair, J. B. (2019). *Multivariate Data Analysis*. Cengage Learning.

Hair, J. F., Hult, G. T., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (3rd ed.)*. SAGE Publications.

doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>

Han, H., & Zhang, X. (2024). Servant leadership and project success: the mediating roles of team learning orientation and team agility. *Frontiers in Psychology*, 15.

doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1417604>

Hasim, N. K., & Salleh, H. (2024). Managerial competencies as a barometer from construction project managers' perspective. *Planning Malaysia*, 22(32).

doi:<https://doi.org/10.21837/pm.v22i32.1498>

---

- Hasson, F., Keeney, S., & McKenna, H. (2022). Research guidelines for the Delphi survey technique. *Journal of Advanced Nursing*, 78(1), 321–334.  
doi:<https://doi.org/10.1111/jan.15075>
- Hauke, J., & Kossowski, T. (2011). Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data. *Quaestiones Geographicae*, 30(2), 87–93. doi:<https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>
- Hedeman, B., & Riepma, R. (2023). *Project management by ICB4*. The Netherlands: Van Haren Publishing. doi:978-94-01810920
- Hentihu, M. (7 de 5 de 2024). *BINUS @ School of Information Systems*. Obtenido de [https://sis.binus.ac.id/2024/05/07/key-differences-between-pmbok-6th-and-pmbok-7th-editions-a-comprehensive-comparison/?utm\\_source](https://sis.binus.ac.id/2024/05/07/key-differences-between-pmbok-6th-and-pmbok-7th-editions-a-comprehensive-comparison/?utm_source)
- Hepburn, C., Stern, N., Stiglitz, J. E., & Wagner, G. (2022). Carbon pricing, climate finance, and the green transition. *Nature Climate Change*, 12(8), 689–698.  
doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-022-01403-5>
- Hernández, H., Ossio, F., & Silva, M. (2023). Assessment of Sustainability and Efficiency Metrics in Modern Methods of Construction: A Case Study Using a Life Cycle Assessment Approach. *Sustainability*, 6267. doi:<https://doi.org/10.3390/su15076267>
- Hevner, A. (2020). A three-cycle view of design science research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 32(2), 87–108. doi:<https://aisel.aisnet.org/sjis/vol32/iss2/4>
- Hoving, R. (2010). Information technology leadership challenges – Past, present, and future. *Information Systems Management*, 27(3), 201-202. doi:10.1080/10580530902794786
- Hsieh, Y.-L., & Yeh, S.-C. (2024). The trends of major issues connecting climate change and the Sustainable Development Goals. *Discover Sustainability*, 5, 31.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s43621-024-00183-9>
- Hussein, A. R., & Moradinia, S. F. (2023). Mitigating Time and Cost Overruns in Construction Projects: A Questionnaire Study on Integrating Earned Value Management and Risk
-

Management. *Journal of Studies in Science and Engineering*, 3(2), 37–51.

doi:<https://doi.org/10.53898/josse2023323>

Hyväri, I. (2006). Project management effectiveness in project-oriented business organizations.

*International Journal of Project Management*, 24(3), 216–225.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.09.001>

Inês Soares, Gabriela Fernandes, & José M. R. C. A. Santos. (2024). Sustainability in Project

Management Practices. *Sustainability*, 16(10). doi:<https://doi.org/10.3390/su16104275>

Inglehart, R. (1997). *Modernization and postmodernization: Cultural, economic, and political change in 43 societies*. Princeton: Princeton University Press.

Institute, W. R. (2014). *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de Protocolo de

Gases de Efecto Invernadero:

[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards\\_supporting/GHGP\\_GPC%20%28Spanish%29.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2010). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. Obtenido de

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University

Press. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). *Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático*. Obtenido de Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático:

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15\\_Summary\\_Volume\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The*

*Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*

---

*of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Ginebra (Suiza). Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

International Carbon Registry, ICR. (2024). *ICR Methodologie*. New York: ICR Program.

Obtenido de [https://documentation.carbonregistry.com/documentation/icr-program/methodology-development/icr-methodologies?utm\\_source](https://documentation.carbonregistry.com/documentation/icr-program/methodology-development/icr-methodologies?utm_source)

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2024). *ICAO Carbon Emissions Calculator (ICEC)*. Montréal, Québec.

doi:[https://icec.icao.int/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Emissions%20Calculator\\_v13\\_Final.pdf?utm\\_source](https://icec.icao.int/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Emissions%20Calculator_v13_Final.pdf?utm_source)

International Energy Agency (IEA). (2023). *Data centres and data transmission networks*.

doi:<https://doi.org/10.1787/20725302>

International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 14064-1:2018 — Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. ISO.

International Organization for Standardization (ISO). (2019). *ISO 14064-2:2019 – Greenhouse gases — Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removals*. ISO.

International Organization for Standardization (ISO). (2020). *ISO 21502: Orientación sobre la gestión de proyectos*. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization (ISO). (2024). *Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements*. ISO. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14064:-3:ed-2:v1:en>

International Project Management Association (IPMA). (2015). *IPMA*. Obtenido de

<https://ipma.world/ipma-standards-development-programme/icb4/>

---

International Project Management Association (IPMA). (2017). *Base para la Competencia Individual v.4*. Suiza: International Project Management Association (IPMA).

Investing. (2024). *Investing portal financiero*. Obtenido de es.investing.com:

<https://es.investing.com/commodities/carbon-emissions>

Jassim, H. S., Hasan, M. F., Altaee, M. J., & Gamil, Y. (2025). A model for preliminary cost estimation in buildings construction projects. *Frontiers in Built Environment*.

doi:<https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1359777>

Jensen, M. C. (1986). Agency costs of free cash flow, corporate finance, and takeovers.

*American Economic Review*, 323–329.

Jia, J., Axelsson, K., Chaudhury, A., & Taylor, E. (2023). A rapid review of GHG accounting standards. SSRN. doi:<https://doi.org/10.2139/ssrn.4523132>

Jiang, J. (2015). Mitigation efforts to reduce carbon dioxide emissions and the updating of

NDCs. *Nature Communications*. doi:<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02743-x>

Johnson, J., & Mulder, H. (2020). Endless Modernization: How Infinite Flow Keeps Software Fresh. *The Standish Group*. Obtenido de

[https://www.rocketsoftware.com/sites/default/files/resource\\_files/endless-modernization-how-infinite-flow-keeps-software-fresh-report.pdf](https://www.rocketsoftware.com/sites/default/files/resource_files/endless-modernization-how-infinite-flow-keeps-software-fresh-report.pdf)

Joslin, R., & Müller, R. (2016). Identifying interesting project management research questions using theories. *Project Management Journal*, 47(1), 21-34.

doi:<https://doi.org/10.1002/pmj.21574>

Kaplan, D. (2008). Structural equation modeling: Foundations and extensions. *Second edition*.

*Newbury Park. Sage Publications*.

Karataş, M. H., & Çakır, H. (2024). A systematic literature review on IT governance mechanisms and frameworks. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 9(1), 88-101.

---

- Karlikowski, M. (2024). Zrównoważone zarządzanie projektami w oparciu o metodykę PRiSM (PProjects integrating Sustainable Methods). *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów*, 81-95. doi:10.33119/SIP.2024.198.5
- Kasperzak, R., Kureljusic, M., Reisch, L., & Thies, S. (2023). Accounting for carbon emissions—Current state of sustainability reporting practice under the GHG Protocol. *Sustainability*, 15(2), 994. doi:https://doi.org/10.3390/su15020994
- Kaufmann, C., & Kock, A. (2023). The performance effects of optimistic and pessimistic project status reporting behavior. *International Journal of Project Management*(41). doi:https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102514
- Kenyon, C., Berrahoui, M., & Macrina, A. (2022). Transparency principle for carbon emissions drives sustainable finance. *Journal of Sustainable Finance & Investment*. doi:https://doi.org/10.1080/20430795.2022.2051402
- Kim, S., Lee, J., & Jeong, H. (2022). Integrating carbon management with ISO standards for enhanced environmental performance. *Sustainable Production and Consumption*(32), 842–856. doi:https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.06.021
- Kivilä, J., Martinsuo, M., & Vuorinen, L. (2017). Sustainable project management through project control and life-cycle approach. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1160–1172. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.009
- Klakegg, O. J. (2008). Governance frameworks for public project development and estimation. *Project Management Journal*, S27-S42.
- Kline, R. (2005). Principles and practice of structural equation modeling. *Guilford Press*.
- Kloppenborg, T. J., Anantatmula, V. S., & Wells, K. (2020). *Contemporary project management (4th ed.)*. Cengage Learning.
- Koi-Akrofi, G. Y. (2019). I.T. Project Success: Practical Frameworks based on key Project Control Variables. *International Journal of Software Engineering & Applications*, 10(5). doi:arXiv:1910.06215
-

- Koke, B., & Moehler, R. (2019). Earned Green Value management for project management: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 230, 180-197.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.079>
- Krueger, R. A., & Casey, M. A. (2015). *Focus groups: A practical guide for applied research (5th ed.)*. SAGE Publications.
- Krupa, M., & Hajek, J. (2024). Hybrid Project Management Models: A Systematic Literature Review. *International Journal of Project Organisation and Management*, 16(2).  
doi:<https://doi.org/10.1504/IJPOM.2024.10056237>
- Krupa, M., Šimůnek, D., & Hájek, J. (2023). *Hybrid project management: A literature review*. Hradec Economic Days.
- Krupa, M.; Hajek, J. (2022). Hybrid Project Management Models: A Systematic Literature Review. *International Journal of Project Organisation and Management*.  
doi:<https://doi.org/10.1504/IJPOM.2024.10056237>
- Lasaitė, L. (2024). *Integrating ESG into Project Management: Navigating Challenges and Strategies for Sustainable Success*.
- Leo, K., Fadilah, R. N., Nayuandika, V., Prayogo, R. K., & Prastyo, Y. (2024). Implementation of Green Project Management in the Construction. *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)*, 301-305. doi:<https://doi.org/10.51244/IJRSI.2024.1108025>
- Li, Y., Zhang, X., & Chen, P. (2024). Quantifying scope 3 emissions in information technology projects: A life cycle assessment perspective. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 44. doi:<https://doi.org/10.1016/j.suscom.2024.101161>
- Liora, N., Poupkou, A., Papadogiannaki, S., Parliari, D., & Giama, E. (2023). A methodology for carbon footprint estimations of research project activities—A scenarios analysis for reducing carbon footprint. *Atmosphere*, 14(1), 6.  
doi:<https://doi.org/10.3390/atmos14010006>
-

- Liu, F., Lai, K.-h., & Cai, W. (2021). Responsible production for sustainability: Concept analysis and bibliometric review. *Sustainability*, 13(3), 1275.  
doi:<https://doi.org/10.3390/su13031275>
- López, A., Fernández-Sánchez, G., & Díaz-Sarachaga, J. M. (2021). Integrating sustainability indicators into project management: A case study on public infrastructure projects. *Journal of Cleaner Production*, 280. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124351>
- López-Gamero, M. D., & Molina-Azorín, J. F. (2023). Corporate governance, environmental accountability, and competitiveness in the context of climate change. *Business Strategy and the Environment*, 32(4), 1843–1858. doi:<https://doi.org/10.1002/bse.3347>
- Lou, B., Afshari, M., Johansen, A., Rasmussen, F. N., & Bohne, R. A. (2025). Sustainability in Infrastructure Project Management—Analysis of Two European Megaprojects. *Infrastructures*, 10(5), 113. doi:<https://doi.org/10.3390/infrastructures10050113>
- Lozano, R. (2015). A holistic perspective on corporate sustainability drivers. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(1), 32-44. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/csr.1325>
- Lozano, R.; Barreiro-Gen, M.; Carpenter, A. (2023). Integrating sustainability into project management: A systematic literature review and future research agenda. *International Journal of Project Management*, 41(3), 205–219.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.01.005>
- Maalouf, R., Khoury, H., & El Asmar, M. (2023). System dynamics modeling for sustainable project management: Integrating financial, social, and environmental performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 421.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138501>
- Marques, P., Sousa, P. F., & Tereso, A. (2023). Sustainability in project management: PM<sup>2</sup> versus PRiSM™. *Sustainability*, 15(22), 15-17. doi:<https://doi.org/10.3390/su152215917>
-

- Márquez, R., & Méndez, P. (2022). Green performance indicators for project governance in emerging economies. *Sustainability*, 14(22), 15209.  
doi:<https://doi.org/10.3390/su142215209>
- Martens, M. L., & Carvalho, M. M. (2017). Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers' perspective. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1084–1102.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.04.004>
- Martens, M. L., & Carvalho, M. M. (2023). The influence of project management practices on sustainability: An empirical study of Brazilian organizations. *Journal of Cleaner Production*, 404. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136988>
- Mayo-Alvarez, L., Álvarez-Risco, A., Del-Aguila-Arcentales, S., Sekar, M. C., & Yañez, J. A. (2022). A Systematic Review of Earned Value Management Methods for Monitoring and Control of Project Schedule Performance: An AHP Approach. 14(22).  
doi:<https://doi.org/10.3390/su142215259>
- Mejía, C., & Kajikawa, Y. (2024). Estimating scope 3 greenhouse gas emissions through the shareholder network of publicly traded firms. *Sustainability Science*, 19, 1409-1425.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s11625-023-01460-8>
- Mercado, L., & Facelli, P. (2024). Systematic review of the most relevant competencies for projects. *SciELO*, 36(1), 95-99.
- Mi, Z. (2019). *Accounting for carbon emissions in global supply chains*. Nueva York: Springer.
- Mickoleit, A. (2024). *Government*. Obtenido de [https://www.governmentnews.com.au/type\\_contributors/government-faces-big-it-fatigue/](https://www.governmentnews.com.au/type_contributors/government-faces-big-it-fatigue/)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *El crecimiento verde es clave para una Colombia competitiva y sostenible*. Bogotá: Ministerio de Ambiente. Obtenido de Asociación Nacional de Empresarios de Colombia:
-

<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3343-el-crecimiento-verde-es-clave-para-una-colombia-competitiva-y-sostenible>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *MinAmbiente*. Obtenido de

<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-internacionales/convenio-sobre-cambio-climatico/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Medición de emisiones: Guía para*

*organizaciones – Resumen de factores de emisión 2023*. Obtenido de MinCiencias:

<https://minciencias.gov.co/glosario/vigilancia-tecnologica-yo-inteligencia-competitiva>

Ministerio para el Medio Ambiente. (2023). *Medición de emisiones: Guía para organizaciones –*

*Resumen de factores de emisión 2023*. Obtenido de environment.govt.nz:

<https://environment.govt.nz/publications/measuring-emissions-a-guide-for-organisations-2023-emission-factors-summary/>

Mirzaei, M., Mabin, V., & Zwikael, O. (2024). Customising Hybrid Project Management

Methodologies. *Production Planning & Control*, 1-18.

doi:<https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2349231>

Moghadam, M. A., Bagherpour, M., & Ghannadpour, S. F. (2023). Sustainability assessment in

construction projects: a sustainable earned value management model under uncertain and unreliable conditions. *Environment Systems & Decisions*, 44(1), 45-68.

doi:<https://doi.org/10.1007/s10669-023-09913-2>

Mohammadi, M., Spross, J., & Stille, H. (2024). Models to analyze risk in time and cost

estimation of tunneling projects. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42, 1445–1457. doi:<https://doi.org/10.1007/s10706-023-02627-x>

Monson, F. K. (2024). Unveiling the strategic resource dimension: A bibliometric and systematic

review of the Resource-Based View and its application to corporate governance. *The Journal of High Technology Management Research*, 35(2), Article 100516.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.hitech.2024.100516>

---

- Moore, J. (2016). Climate change and economic development: A complex relationship. *Environmental Research Letters*, 11(9), 094007. doi:10.1088/1748-9326/11/9/094007
- Morgan, D. L. (2022). *Basic and advanced focus groups*. Londres: SAGE PublicationS. doi:https://doi.org/10.4135/9781071873281
- Morgeson, F. y. (1999). The structure and function of collective constructs: Implications for multilevel research and theory development. *Academy of Management Review*, 249–265.
- Morozov, V. K. (2019). Research of the Impact of Changes Based on External Influences in Complex IT Projects. *IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, 481-487.
- Moussa, B., Kasseem, M., & Hosny, O. (2024). Digital transformation and sustainability integration in project management systems: Towards a unified performance framework. *Sustainability*, 16(2), 713. doi:https://doi.org/10.3390/su16020713
- Muhammad, S., Yah Jusoh, Y., Nor Haizan, R., & Orisbayevna, A. (2024). Validating a quality model through expert review for Green Information Systems. *International Journal on Informatics Visualization*. doi:http://dx.doi.org/10.62527/joiv.8.4.3648
- Muñoz Villamizar, A. F. (2018). Modelo para integrar y mejorar la eficiencia productiva y ambiental en las organizaciones. *Modelo para integrar y mejorar la eficiencia productiva y ambiental en las organizaciones*. Institución: Universidad de Navarra. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=246340
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2023). Sustainable digital transformation and the green economy: Emerging global patterns in research and practice. *Technological Forecasting and Social Change*, 192. doi:https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122680
- Murtin, F. (2017). Más allá del PIB: ¿Existe una ley de un precio sombra? *Revista Económica Europea*, 390-411.
-

- Musawir, A. U. (2024). Revisiting the principal–agent framework in the context of projects: Drawing parallels with corporate governance. *Project Management Journal*. Obtenido de [https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/87569728241270572?utm\\_source](https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/87569728241270572?utm_source)
- Musawir, A. U.; Abd-Karim, S. B.; Danuri, M. S. M. (2020). Project governance and its role in enabling organizational strategy implementation: A systematic literature review. *International Journal of Project Management*, 38(1), 1-16.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.09.007>
- Mytton, D. (2020). Assessing the suitability of the Greenhouse Gas Protocol for calculation of emissions from public cloud computing workloads. *Journal of Cloud Computing*, 45.  
doi:<https://doi.org/10.1186/s13677%E2%80%911020%E2%80%91100185%E2%80%9118>
- Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París. Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 21)*. París: Naciones Unidas.  
Obtenido de [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- Neely, A. G. (2005). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations and Production Management*, 1228-1263.
- New Zealand Ministry for the Environment. (2023). *Environment*. Obtenido de <https://environment.govt.nz/publications/measuring-emissions-a-guide-for-organisations-2023-emission-factors-summary/>
- Nicole, G. (2016). ¿Falló el Protocolo de Kioto? Evaluación del efecto del Protocolo de Kioto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>. *Medio Ambiente y Economía del Desarrollo*, 1-22.
- Nijkamp, P. v. (1990). Regional sustainable development and natural resource use. *The World Bank Economic Review*, 153-188. Obtenido de García, Jesús:  
[https://doi.org/10.1093/wber/4.suppl\\_1.153](https://doi.org/10.1093/wber/4.suppl_1.153)
- Njuguna, M., Alkizim, A., & Wanyona, G. (2024). Organizational culture's influence on the adoption of information management technology in construction projects in Nairobi,
-

- Kenya. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 23(5), 22-33.  
doi:<https://doi.org/10.4314/jagst.v23i5.2>
- Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518–1523. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics. *Advances in Health Sciences Education*, 15(5), 625–632. doi:<https://doi.org/10.1007/s10459-010-9222-y>
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1–13. doi:<https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- O’Higgins, D. (2023). Impacts of business architecture in the context of digital transformation: An empirical study using PLS-SEM approach. *arXiv*, 72(84), 72-84.  
doi:<https://doi.org/10.32996/jbms.2023.5.4.7>
- Ochoa-Pacheco, P., Coello-Montecel, D., Tello, M. L., & Armijos, A. (2023). How do project managers’ competencies impact project success? A systematic literature review. *PLoS One*, 18(12). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295417>
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15-29.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
- Ordóñez-Castaño, I., Herrera-Rodríguez, E., Franco-Ricaurte, A., & Perdomo-Mejía, L. (2021). Divulgación voluntaria de criterios ambientales GRI y RSE en empresas colombianas. *Sostenibilidad*, 13(10), 5405. doi:10.3390/su13105405
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Oshri, I., Kotlarsky, J., & Willcocks, L. (2022). Governance of outsourcing projects en The Handbook of Global Outsourcing and Offshoring. *Springer*.
-

- Ottaviani, F. M., Marco, A. D., Narbaev, T., & Rebuglio, M. (2024). Improving Project Estimates at Completion through Progress-Based Performance Factors. *Buildings*, 14(3), 643. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings14030643>
- Ouriques, R., Gorschek, T., Mendez, D., & Fagerholm, F. (2023). Connecting the dots of knowledge in agile software development. *arXiv*. doi:[arXiv:2306.05742](https://arxiv.org/abs/2306.05742)
- Pacto Global Colombia. (2020). *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible: Hoja de ruta hacia un mundo más equitativo*. Bogotá: Pacto Global Colombia. Obtenido de <https://www.pactoglobal-colombia.org/news/agenda-2030.html>
- Page, M. J., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. doi:<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Patrícia Marques, Paulo Sousa, & Anabela Tereso. (2023). Sustainability in Project Management: PM2 versus PRiSM™. *Sustainability*, 15(22), 1591. doi:<https://doi.org/10.3390/su152215917>
- Peffer, K., Tuunanen, T., & Niehaves, B. (2018). Design Science Research Genres: Introduction to the Special Issue on Exemplars and Criteria for Applicable Design Science Research. *European Journal of Information Systems*, 27(2), 129–139. doi:<https://doi.org/10.1080/0960085X.2018.1458066>
- Pidd, M. (2010). Why modelling and model use matter. *Journal of the Operational Research Society*, 14–24.
- Pilkienė, M., Alonderienė, R., Chmieliauskas, A., Šimkonis, S., & Müller, R. (2018). The governance of horizontal leadership in projects. *International Journal of Project Management*, 36(7), 913-924. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.06.002>
- Pindyck, R. S. (2013). Climate change policy: What do the models tell us? *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860-872. doi:[10.1257/jel.51.3.860](https://doi.org/10.1257/jel.51.3.860)
- Pindyck, R. S. (2023). The social cost of carbon revisited. *Energy Economics*, 124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106861>
-

- Pittman, R. (1983). Pollution and firm performance: A parametric distance function approach. *Environmental Economics and Management*, 10(1), 55-66. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0095-0696\(83\)90031-2](https://doi.org/10.1016/0095-0696(83)90031-2)
- PMExams. (28 de 1 de 2025). *The Standard for Project Management*. PMExams. Obtenido de <https://pmexams.com/pmbok/the-standard-for-project-management>
- Polit, D. F., & Beck, C. T. (2021). Nursing research: Generating and assessing evidence for nursing practice (11th ed.). *Wolters Kluwer*.
- Pollack, J. (2007). The changing paradigms of project management. *International Journal of Project Management*, 266-74.
- Porter, M., & Kramer, M. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62-77.
- Prebanić, K. R., & Vukomanović, M. (2023). Exploring stakeholder engagement process as the success factor for infrastructure projects. *Buildings*(13), 1785.  
doi:<https://doi.org/10.3390/buildings13071785>
- Probst, B., Toetzke, M., Diaz Anadon, L., Kontoleon, A., & Hoffmann, V. (2023). Systematic review of the actual emissions reductions of carbon offset projects across all major sectors. *Preprint*. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3149652/v1>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2020). *Informe sobre la brecha de emisiones 2020*. Nairobi, Kenia: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Obtenido de [//www.unep.org](http://www.unep.org)
- Project Management Institute (PMI). (2019). *Practice Standard for Earned Value Management (2nd ed.)*. Newtown Squared, Pennsylvania USA: Project Management Institute.
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, Inc.
-

- Project Management Institute (PMI). (2023). *Project Manager Competency Development (PMCD) Framework (3.<sup>a</sup> ed.)*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Project Management Institute (PMI). (2024). *The GPM® Sustainability Competence Standard*. PMI. Obtenido de <https://www.pmi.org/standards/the-gpm-sustainability-competence-standard>
- Project Management Institute (PMI). (2025). *Project Managers Empowered to Drive Impact through New Joint Venture*. Newtown Square: PMI. Obtenido de [https://www.pmi.org/about/press-media/2025/project-managers-empowered-to-drive-impact-through-new-joint-venture?utm\\_source](https://www.pmi.org/about/press-media/2025/project-managers-empowered-to-drive-impact-through-new-joint-venture?utm_source)
- Quesado, P. R., Silva, J. V., & Pereira, M. (2024). Sustainability and technology management: Mapping two decades of research. *Journal of Cleaner Production*, 435. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140827>
- Quinn, R. y. (1983). A spatial model of effectiveness criteria: towards a competing values approach to organizational analysis. *Management Science*, 363–377.
- Rafaty, R., Dolphin, G., & Pretis, F. (2023). Carbon pricing and the Paris Agreement: Evaluating global progress and challenges. *Nature Climate Change*, 13(8), 731–739. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-023-01756-5>
- Rahman, M., Ahmed, S., & Chowdhury, S. (2024). Lifecycle carbon accounting for ICT waste management: Challenges and pathways to sustainability. *Resources, Conservation & Recycling*, 203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107567>
- Rakan Alyamani, Suzanna Long, & Mohammad Nurunnabi. (2021). Evaluating Decision Making in Sustainable Project Selection Between Literature and Practice. *Sustainability*, 13(15), 8216. doi:<https://doi.org/10.3390/su15158216>
- Raymond, L., & Bergeron, F. (2015). Impact of project management information systems on project performance. *Handbook on project management and scheduling*, 2, 1339-1354. doi:[10.1007/978-3-319-05915-0\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05915-0_30)
-

- Rayner, S. (2015). *Governing the Climate: New Approaches to Rationality, Power and Politics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Real Academia Española (RAE). (2024). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/software>
- Redmill, F. (1997). *Software projects: evolutionary vs. big-bang delivery*. John Wiley y Sons, Inc.
- REPSOL. (2023). *Consumo energético de ordenadores portátiles y de escritorio*. Madrid: REPSOL. Obtenido de REPSOL: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/cuanto-consume-ordenador/#:~:text=de%20esta%20horquilla.-,Port%C3%A1tiles,que%20pueden%20incluso%20gastar%20menos.>
- RINA Services S.p.A. (2023). *RINA*.
- Rivo-López, E., Ferreira, F. A., & Rueda, L. (2025). Sustainable digital leap: A bibliometric review of technology and sustainability integration. *Sustainability*, 17(3), 2012. doi:<https://doi.org/10.3390/su17032012>
- Rodríguez Becerra, M. (2008). *Gobernabilidad, instituciones y medio ambiente en Colombia*. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- Rodríguez, M. P. (2002). Paso a paso en el diseño de un estudio mediante grupos focales. *Atención Primaria*, 366-373.
- Rojas, J. A., Domínguez, T., & Hernández, R. (2024). Characteristics and perceptions of project management in sustainable projects. *International Journal of Project Management*, 42(3), 215-229. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2024.02.005>
- Rojas, M. T., A., & Silva, D. (2023). Project management and sustainability integration in Latin America: A bibliometric analysis. *International Journal of Project Management*, 41(6), 401–419. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.05.009>
- Rouse, M. (2024). *Computerweekly*. Obtenido de [computerweekly/Gestion-de-proyectos-de-TI](https://www.computerweekly.com/es/definicion/Gestion-de-proyectos-de-TI): <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Gestion-de-proyectos-de-TI>
-

- Roy, M., Deb, N., Chaki, N., & Cortesi, A. (2025). Towards a Taxonomy of Sustainability Requirements for Software Design. *arXiv*, 7.  
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.08990>
- Sampieri, R. H. (2010). Metodología de la investigación. En R. H. Sampieri, *Metodología de la investigación* (págs. 69-78). México: McGraw-Hill.
- Sanjeet Singh, & Jayaram Ru. (2023). Goals of sustainable infrastructure, industry, and innovation (SDG 9): a systematic review. *Sustainability*, 30, 28446–28458.  
doi:10.1007/s11356-023-25281-5
- Sastoque-Pinilla, L., Artelt, S., Burimova, A., Lopez de Lacalle, N., & Toledo-Gandarias, N. (2022). Project success criteria evaluation for a project-based organization and its stakeholders: A Q-methodology approach. *Applied Sciences*, 12(21), 11090.  
doi:<https://doi.org/10.3390/app122111090>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). *Research Methods for Business Students*. Birmingham: Pearson Education.
- Savenkova, E. V., Kushch, I. A., Sukhetsky, D. V., & Tsibareva, D. O. (2025). Peculiarities of validation of climate projects, verification of their implementation results and changes in requirements for greenhouse gas validation and verification bodies. *Ecology*, 33(2), 132-144. doi:<https://journals.rudn.ru/ecology/article/view/44828>
- Scenna, N. (1999). Modelado, simulación y optimización de procesos químicos. *Universidad Tecnológica Nacional de Argentina*.
- Schäfer, M., Cerdas, F., & Herrmann, C. (2023). Towards standardized grid emission factors: Methodological insights and best practices. *Cleaner Engineering and Technology*, 14.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100700>
- Schalock, R. L.-D. (2007). The renaming of mental retardation: Understanding the change to the term intellectual disability. *Intellectual and Developmental Disabilities*, 45, 116–124.
-

- Schneider, I., & Mattia, T. (2024). Carbon accounting in the cloud: A methodology for allocating emissions across data center users. *arXiv*, 10.  
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.09645>
- Schwalbe, K. (2015). Information technology project management. *Cengage Learning*.
- Senić, A., Simić, N., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2025). Development of a Hybrid Model for Risk Assessment and Management in Complex Road Infrastructure Projects. *Applied Sciences*, 2736. doi:<https://doi.org/10.3390/app15052736>
- Serrador, P., & Pinto, J. K. (2020). Does Agile work? — A quantitative analysis of agile project success. *International Journal of Project Management*, 271-285.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.06.002>
- Sesento, L. (2008). *Modelo sistémico basado en competencias para Instituciones*. México: CIDEM – Centro de Investigación y Desarrollo .
- Sharma, P., & Singh, R. (2023). Integrating environmental sustainability into software project management: An activity-based carbon estimation framework. *Journal of Cleaner Production*, 416. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137258>
- Shenhar, A., & Dvir, D. &. (2001). Project success: a multidimensional strategic concept. *Long Range Planning*, 699-725.
- Silvius A.J.G., S. P. (2014). Sostenibilidad en la gestión de proyectos. *Negocio Social*, 63-96.
- Silvius, A. G., & Schipper, R. (2022). Exploring the relationship between sustainability and project success – conceptual model and expected relationships. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 4(3), 5-22.  
doi:<https://doi.org/10.12821/ijispm040301>
- Silvius, A. J. G., & Schipper, R. (2021). Exploring variety in the role of sustainability in project management. *International Journal of Project Management*, 39(2), 208–219.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.06.006>
-

- Silvius, A. J. G.; de Graaf, M. (2019). Exploring the project manager's intention to address sustainability in the project board. *Journal of Cleaner Production*, 1226–1240.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.093>
- Silvius, A. J. G.; Schipper, R. (2024). Integrating sustainability into earned value management: A research agenda for green project control. *Sustainability*, 16(8), 3625.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.018>
- Silvius, A. J., Schipper, R., Planko, J., van den Brink, J., & Köhler, A. (2017). Sustainability in Project Management. *Routledge*. doi:<https://doi.org/10.4324/9781315241944>
- Silvius, G. (2023). Exploring the Values of a Sustainable Project Manager. *Sustainability*, 15(10), 8006. doi:<https://doi.org/10.3390/su15108006>
- Silvius, G. (2025). Integrating sustainability in project management. *International Journal of Project Management*, forthcoming. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2025.01.003>
- Sina Moradi, Kalle Kähkönen, & Kirsi Aaltonen. (2020). Project Managers Competencies in Collaborative Construction Projects. *Buildings*, 10(3), 50.  
doi:<https://doi.org/10.3390/buildings10030050>
- Singh, S., & Ru, J. (2023). Goals of sustainable infrastructure, industry, and innovation: A review and future agenda for research. *Environmental Science and Pollution Research International*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28446–28458. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-023-25281-5>
- Sipilä, A., Partanen, L., & Porras, J. (2024). Carbon Footprint Calculations for a Software Company – Adapting GHG Protocol Scopes 1, 2 and 3 to the Software Industry. *Software Business*. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-031-53227-6\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53227-6_31)
- Smith, A. D., Rupp, W. T., & Motley, D. (2013). Corporate reputation as strategic competitive advantage of manufacturing and service-based firms: Multi-industry case study. *International Journal of Services and Operations Management*, 14(2), 131–156.
-

- Soares, I. (2024). Sustainability in project management practices. *Sustainability*, 16(10), 4275.  
doi:<https://doi.org/10.3390/su16104275>
- Soares, I. A., Fernandes, G., & Santos, J. M. (2024). Sustainability in Project Management Practices. *Sustainability*, 16(10), 4275. doi:<https://doi.org/10.3390/su16104275>
- Soares, I.; Fernandes, G.; Santos, J. M. R. C. A. (2024). Sustainability in Project Management Practices. *Sustainability*, 16(10), 4275. doi:<https://doi.org/10.3390/su16104275>
- Sokolov, M. V. (2023). NPV, IRR, PI, PP, and DPP: A unified view. *arXiv Preprint*.  
doi:<https://arxiv.org/abs/2302.02875>
- Soliman, K. S. (2024). Integrating risk management and earned value for sustainable project performance evaluation. *Sustainability*, 16(3), 1121.  
doi:<https://doi.org/10.3390/su16031121>
- Sołtysik, M., Zakrzewska, M., Sagan, A., & Jarosz, S. (2020). Assessment of Project Manager's Competence in the Context of Individual Competence Baseline. *Educ. Sci*, 146.  
doi:<https://doi.org/10.3390/educsci10050146>
- Souza, A., Jatoria, S., Chakrabarty, B., & Irwin, D. (2024). CASPER: Carbon-Aware Scheduling and Provisioning for Distributed Web Services. *arXiv*.  
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.14792>
- Sroufe, R., & Viskovic, L. (2022). Integrating sustainability into project management: The role of dynamic capabilities. *International Journal of Project Management*, 40(6), 628–641.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.06.005>
- SRWE – Statistical Review of World Energy. (2021). *Statistical Review of World Energy 2021*. London: SRWE. Obtenido de Statistical Review of World Energy:  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
-

- Standing, C. G. (2006). The attribution of success and failure in IT projects. *Industrial Management y Data Systems*, 1148-1165.  
doi:<https://doi.org/10.1108/02635570610710809>
- Stathakopoulos, V. (2025). Building middle managers' managerial dynamic capabilities through collaborations: exploring the microfoundations in a university–industry consortium. *The Journal of Technology Transfer*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10961-025-10242-6>
- Stern, N., & Stiglitz, J. E. (2023). The economics of climate change: from the Stern Review to now. *Nature Climate Change*, 13(7), 619–630. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-023-01736-9>
- Steuperaert, D., Poels, G., & Devos, J. (2024). A reference model for information quality in an IT governance context. *Preprint*. Obtenido de [https://arxiv.org/abs/2405.04558?utm\\_source](https://arxiv.org/abs/2405.04558?utm_source)
- Superservicios. (2021). *Superintendencia de Servicios Públicos*. Obtenido de Superintendencia de Servicios Públicos: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/boletin\\_tarifario\\_energia\\_3-trim-2021\\_1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/boletin_tarifario_energia_3-trim-2021_1.pdf)
- Suvari, S. K. (2023). Project Portfolio Management: Best Practices for Strategic Alignment. *International Journal of Professional Business Review*, 8(12), 1-22.  
doi:<https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i12.4987>
- Suvari, S. K. (2024). A study on portfolio management strategies adopted by asset management companies across the globe. *International Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, 12(6), 381-391. doi:10.11648/j.ijefm.20241206.14
- Suvvari, S. K., & Sawalkar, R. (2024). The impact of sustainability considerations on project management practices. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(23), 650. Obtenido de <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/6941>
- SvanteMandell. (2011). Valores de emisión de carbono en análisis de coste-beneficio. *Política de transportes*, 888-892.
-

- Symons, C. (2005). IT governance framework. *Forrester research*.
- Takagi, N., & Varajão, J. (2025). ISO 21502 and Success Management: A required marriage in project management. *SAGE Open*, 15(3).  
doi:<https://doi.org/10.1177/21582440251355046>
- TEADS. (2024). *Estimador de huella de carbono para instancias de AWS*. Nueva York: TEADS. Obtenido de [engineering.teads.com](https://engineering.teads.com): <https://engineering.teads.com/sustainability/carbon-footprint-estimator-for-aws-instances/>
- Technovation. (2022). Stakeholder engagement strategy of technology firms: A review and applied view of stakeholder theory. *Technovation*, 114.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102460>
- Teuber, L. G., Heukelum, v., J., H., & Wolfert, A. R. (2024). Advancing Strategic Planning and Dynamic Control of Complex Projects. *arXiv*.  
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.12422>
- Thibodeau, P. (2017). Pennsylvania sues IBM over troubled \$110 M IT upgrade. *Computerworld*.
- Thomas, J. y. (2008). Preparing project managers to deal with complexity advanced project management education. *International Journal of Project Management*,, 304-315.
- Too, E. G., & Weaver, P. (2014). The management of project value: A review and research agenda. *International Journal of Project Management*, 32(4), 684–695.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.007>
- Trummer, P., Ammerer, G., & Scherz, M. (2022). Sustainable consumption and production in the extraction and processing of raw materials — Measures sets for achieving SDG target 12.2. *Sustainability*, 14(17). doi:<https://doi.org/10.3390/su141710971>
- Turner, J. R. . (2020). How does governance influence decision making in projects and in project-based organizations? *Project Management Journal*, 51.  
doi:<https://doi.org/10.1177/8756972820939769>
-

- Turner, R., & Müller, R. (2022). Project-oriented leadership and sustainability: Cultural and contextual influences on adoption. *Project Management Journal*, 53(3), 239–253. doi:<https://doi.org/10.1177/87569728221080542>
- UI Musawir, A. S. (2017). Project governance, benefit management, and project success: Towards a framework for supporting organizational strategy implementation. *International Journal of Project Management*, 1658-1672.
- Ulissi, S., Dumit, A., Joyce, P. J., Rao, K., Watson, S., & Suh, S. (2025). Criteria for Credible AI-assisted Carbon Footprinting Systems: The Cases of Mapping and Lifecycle Modeling. *arXiv*, 16. doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.00240>
- Ulwick, A. W. (2023). *Outcome-driven innovation: A strategy for customer-defined value creation*. Obtenido de <https://www.strategyandbusiness.com/article/outcome-driven-innovation>
- UNFCCC. (2015). *Paris Agreement*. Obtenido de [https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement?utm\\_source](https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement?utm_source)
- UNFCCC. (2025). Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/A6.4-MEP004-A01.pdf>
- Universidad de Boyacá. (2021). *Aplicación del método del valor ganado (EVM) en proyectos de construcción en Colombia*. Boyacá: Repositorio Institucional Universidad de Boyacá. Obtenido de <https://repositorio.uniboyaca.edu.co/server/api/core/bitstreams/ae78676b-fb67-4908-905c-7def42a60ac0/content>
- Uriarte-Gallastegi, N., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., & Laskurain-Iturbe, I. (2024). The Role of AI in Improving Environmental Sustainability: A Focus on Energy Management. *Energies*(17), 649. doi:<https://doi.org/10.3390/en17030649>
- Vale, Z. G., & Faria, P. (2022). Green computing: A realistic evaluation of energy consumption for building load forecasting computation. *Journal of Smart Environments and Green Computing*, 2(1), 34-45. doi:<https://doi.org/10.20517/jsegc.2022.06>
-

- Vale, Z., Pereira, J., & Silva, C. (2022). Green computing frameworks for sustainable information systems. *Energy Reports*, 8, 765–778.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.018>
- Van de Wetering, R. (2021). Dynamic enterprise architecture capabilities and organizational benefits: An empirical mediation study. *arXiv*. Obtenido de [//arxiv.org/abs/2105.10036](https://arxiv.org/abs/2105.10036)
- Van Grembergen, W., & De Haes, S. (2004). Structures, processes and relational mechanisms for IT governance. *Strategies for information technology governance*. Idea Group Publishing, 10.
- Vanegas, V. (2013). Métodos probabilísticos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. *Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología*.
- Venkatesh, V., Brown, S. A., & Bala, H. (2019). Bridging the qualitative–quantitative divide: Guidelines for conducting mixed methods research in information systems. *MIS Quarterly*, 43(1), 21-54. doi:<https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/13932>
- Voinov, A., & Shugart, H. H. (2013). ‘Integronsters,’ integral and integrated modeling frameworks in environmental systems. *Environmental Modelling & Software*, 39, 149–158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.05.014>
- Vukomanović, M., Young, M., & Huynink, S. (2016). IPMA ICB 4.0 — A global standard for project, programme and portfolio management competences. *International Journal of Project Management*, 34(8), 1703-1705.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.09.011>
- Wang, Z., & Fan, Z. (2024). Green sustainability assessment and efficiency improvement study of international oil and gas companies: Based on data envelopment analysis. *Heliyon*, 11(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40942>
- Watanabe, W. C. (2024). The impact of triple constraints on project success, a moderating role of organizational support. *Journal of Project Management*, 9(1), 73-84.  
doi:[10.5267/j.jp.2023.8.002](https://doi.org/10.5267/j.jp.2023.8.002)
-

- Weill, P. y. (2004). IT governance: How top performers manage IT decision rights for superior results. *Harvard Business Press*.
- Wellingtone. (2024). *Wellingtone*. Obtenido de [https://wellingtone.co.uk/wp-content/uploads/2024/02/The-State-of-PM.pdf?utm\\_source](https://wellingtone.co.uk/wp-content/uploads/2024/02/The-State-of-PM.pdf?utm_source)
- Wiese, S. A., Lehmann, J., & Beckmann, M. (2024). Organizational culture and the usage of Industry 4.0 technologies: Evidence from Swiss businesses. *arXiv*. doi:<https://arxiv.org/abs/2412.12752>
- Williams, T. H. (2018). Complexity and Project Management: A General Overview. *Complexity*, 1-10. doi:10.1155/2018/4891286
- Winter, M. S. (2006). Directions for future research in Project Management: the main findings of a UK government-funded research network. *International Journal of Project Management*, 638-649.
- World Bank. (2024). *Guidance note on shadow price of carbon in economic analysis*. Washington, DC: World Bank. Obtenido de [https://documents1.worldbank.org/curated/en/099553203142424068/pdf/IDU1c94753bb1819e14c781831215580060675b1.pdf?utm\\_source](https://documents1.worldbank.org/curated/en/099553203142424068/pdf/IDU1c94753bb1819e14c781831215580060675b1.pdf?utm_source)
- World Resources Institute (WRI); World Business Council for Sustainable Development. (2023). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition)*. Washington, DC: WRI & WBCSD.
- Xue, Y., Liang, H., & Boulton, W. R. (2008). Information technology governance in information technology investment decision processes: The impact of investment characteristics, external environment, and internal context. *MIS Quarterly*, 32(1), 67-96.
- Yalçın, G. (2024). Evaluation of Earned Value Management-Based Cost Forecasting using Machine Learning. *Buildings*, 14(22), 3772. doi:10.3390/buildings14123772
-

- Yang, X. Z. (2022). Prior and governed stakeholder relationships: The key to resilience of inter-organizational projects. *International Journal of Project Management*, 40(1), 1-14. doi:10.1016/j.ijproman.2021.10.001
- Ye, J., & Xu, W. (2023). Carbon reduction effect of ESG: Empirical evidence from listed manufacturing companies in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*. doi:https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1311777
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). *SAGE Publications*.
- York, J. G., & Venkataraman, S. (2010). The entrepreneur–environment nexus: Uncertainty, innovation, and allocation. *Journal of Business Venturing*, 25(5), 449-463. doi:https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2009.07.006
- Zaman, S. I., Jadoon, S. T., & Khan, S. A. (2024). Green Algorithms: The Impact of Artificial Intelligence on Environmental Sustainability. *Engineering Proceedings*, 76(1), 40. doi:https://doi.org/10.3390/engproc2024076040
- Zeller, R. y. (1980). *Medición en las Ciencias Sociales: El Vínculo entre Teoría y Datos*. Nueva York: Prensa de la Universidad de Cambridge.
- Zhang, L., & Pan, Z. (2024). The impact of the carbon emission trading shadow price on the green total-factor productivity of the power industry in China. *Sustainability*, 16(10), 4020. doi:https://doi.org/10.3390/su16104020
- Zhang, M., & Antwi-Afari, M. F. (2021). Uncertainty in Software Development Projects: A Review of Causes, Types, Challenges, and Future Research Directions. *Systems*, 13(8), 650. doi:https://doi.org/10.3390/systems13080650
- Zhang, X., & Zhang, X. (2023). An automated project carbon planning, monitoring and forecasting system integrating building information model and earned value method. *Journal of Cleaner Production*, 397. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136526
-

Zheng, J. (2019). China's Climate Governance and Policy Commitments. *Economía de la Energía*, 25-36.

Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y. (2023). Carbon footprint assessment and reduction in cloud computing: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138624>

Zhu, Q., Li, H., & Sarkis, J. (2024). Low-carbon competitiveness and sustainable industrial transition: Evidence from emerging economies. *Resources, Conservation and Recycling*, 205. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107532>

Zuleta-Castellano, H. R. (2023). Performance management in construction projects. (Artículo regional que documenta uso tradicional de EVM en Latinoamérica). *Redalyc*. Obtenido de [https://www.redalyc.org/journal/496/49677771007/49677771007.pdf?utm\\_source](https://www.redalyc.org/journal/496/49677771007/49677771007.pdf?utm_source)

Zwikael, O. &. (2019). Project Management: A Benefit Realisation Approach. *Springer*.  
doi:10.1007/978-3-030-03174-9

---

## ANEXOS

### Apéndice A: Instrumento para aplicar en el grupo focal

Se detallan las preguntas propuestas aplicar a la muestra descrita en las reuniones del grupo focal para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos de la investigación y posterior disertación.

En la tabla 88 se presenta las preguntas propuestas para el desarrollo de las actividades de la investigación.

**Tabla 88**

*Modelo instrumento de preguntas para el grupo focal.*

Sección A - Información General		a.	b.	c.	d.
1	¿Cuántos años ha trabajado en la gestión de proyectos?	Menos de 1 año	De 1 a 5 años	De 5 a 10 años	Más de 20 años
2	¿Cuántos años ha trabajado en la gestión de proyectos de tecnología?	No he trabajado	De 0 a 5 años	De 5 a 10 años	Más de 20 años
3	¿Cuál ha sido la escala de tiempo del proyecto de tecnología de mayor duración que ha gestionado?	Menos de 3 meses	De 3 a 6 meses	De 6 a 12 meses	Más de 12 meses
4	¿Cuál ha sido la principal fuente de restricciones en sus proyectos de tecnología?	Alcance	Tiempo	Costo	Factor ambiental
5	¿Te consideras más un gerente de proyectos técnico o funcional?	Técnico	Funcional		
6	¿Qué tipo de proyectos has gestionado durante los cinco últimos años?	Desarrollo aplicaciones	Implementación infraestructura	Mantenimiento y operación	Adopción de la nube
7	¿Para los proyectos gestionados se realiza planificación y medición del impacto ambiental?	Si	No		
8	Si la respuesta anterior fue positiva, indique que tipo de medición de realiza.	Medición huella de carbono por actividades	Medición huella de carbono por tecnología a adquirir	Impacto ambiental por consumo de recurso naturales	Otro, especifique cual
9	¿Se realiza compensación por consumo de huella de carbono en la organización donde se gestionan estos proyectos?	Si	No	No poseo información	
10	Si la respuesta anterior fue positiva, ¿qué tipo de compensación realiza?	Bonos de Carbono	Reforestación	uso de energías renovables / eficiencia energética	Otra, especifique cual
Sección B - Información proyecto		a.	b.	c.	d.
1	¿Quién planifica las actividades del proyecto de tecnología?	Gerente de proyecto - PMP	Oficina Proyectos - PMO	En conjunto (PMO y PMP)	Área funcional organización
2	¿Quién controla y monitorea las actividades del proyecto de tecnología?	Gerente de proyecto - PMP	Oficina Proyectos - PMO	En conjunto (PMO y PMP)	Área funcional organización

3	¿Cuándo realizan el monitoreo del proyecto utilizan la herramienta de valor ganado EVM del PMI?	Si	No	Ocasionalmente	
4	¿Cuándo se utiliza EVM, que estimas principalmente?	Alcance	Desempeño con relación a la línea base de costo	Desempeño con relación a la línea base de cronograma	
5	Para medir el desempeño del valor ganado, tienes en cuenta la línea base inicial o la modificada de acuerdo con el avance del proyecto.	Línea base original	Línea base modificada		
6	¿Para los proyectos gestionados que tan importante es la varianza del cronograma en la planificación, ejecución y cierre?	Nada importante	Poco importante	Importante	Muy importante
7	¿Para los proyectos gestionados que tan importante es la varianza del costo en la planificación, ejecución y cierre?	Nada importante	Poco importante	Importante	Muy importante
8	¿Considera que el impacto ambiental generado por la ejecución de proyectos de tecnología debe ser incluido en el costo como mayor valor del proyecto en compensación al medio ambiente?	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
<b>Sección C - Herramientas IT</b>					
		<b>a.</b>	<b>b.</b>	<b>c.</b>	<b>d.</b>
1	¿Qué herramientas manejas para la planificación y seguimiento de proyectos?	Microsoft Project	Jira Software	Asana	Otro, especifique cual
2	¿Con qué frecuencia se realiza la validación de valor ganado en la herramienta utilizada?	Diario	Semanal	Mensual	Otro, especifique cual
3	¿La herramienta utilizada permite visualizar la información gráfica de manera interactiva?	Si	No		
4	¿La herramienta utilizada permite identificar la sostenibilidad medida en el impacto ambiental global generado por su proyecto de tecnología?	Si	No	Parcialmente	
5	¿Le gustaría medir y tomar acciones, a través de herramientas de IT, la sostenibilidad ambiental del proyecto de tecnología como aporte a la descarbonización del medio ambiente?	Si	No		
6	¿Estaría interesado en validar una herramienta diseñada para medir el rendimiento de los proyectos en las aristas: ¿Costo, Tiempo e impacto ambiental?	Si	No		

Nota: Elaboración propia. (2023).