



Facultad de Ingeniería  
Universidad de Concepción



Departamento de  
Ingeniería Industrial  
Universidad de Concepción

# **DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DIGITAL PARA LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE ACTIVIDADES DE TURISMO EN LA RESERVA DE BIÓSFERA "CORREDOR BIOLÓGICO NEVADOS DE CHILLÁN – LAGUNA DEL LAJA"**

**POR**

**Francisco Alejandro José Troncoso Muñoz**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción  
para optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía  
**Jorge Jiménez del Río**

Enero, 2026  
Concepción (Chile)

© 2025 Francisco Alejandro José Troncoso Muñoz

## **Dedicatoria**

*Por el presente tengo el honor de dedicar este trabajo íntegramente a mi madre, por su ardua labor, orientándome siempre en las sendas de buenas costumbres, una buena educación y dando lineamientos para convertirme cada día en una mejor persona, al igual que un hombre bueno y feliz.*

## **Agradecimientos**

A mi madre agradezco por darme la educación e instruirme con mucho amor durante toda mi vida y carrera hasta hoy en día.

Agradezco con la misma energía a mi abuelita, que siempre ha estado para mí, en cada etapa que he vivido, estando siempre preocupada de mi progreso y entregándome los mejores y más sabios consejos.

De igual forma agradezco a mi familia y amigos que estuvieron presentes durante este proceso, siendo un gran pilar, tanto para mi desempeño como para vivir alegrías en conjunto.

A mi profesor guía por dedicar su tiempo y brindarme los lineamientos necesarios para desarrollar de forma óptima el proyecto.

Y a todos los amantes de la naturaleza, apasionados por su resguardo, conservación y preservación.

## **Resumen**

El presente proyecto de Memoria de Título desarrolla una herramienta web para calcular la huella de carbono asociada a visitas y actividades turísticas en la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”, área protegida de gran valor ecológico y cultural que comprende las regiones de Ñuble y el Biobío. El proyecto se desarrolla en el contexto de la necesidad de educar y generar acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al turismo en áreas protegidas. La reserva de biósfera recibe un flujo importante de visitantes, pero hasta ahora no contaba con una herramienta específica que permitiera cuantificar el impacto de la huella de carbono de cada visita, tampoco es comunicada de forma clara a las personas y a la administración del territorio.

La ausencia de una herramienta de cuantificación de impactos ambientales para las particularidades de la reserva y la falta de un canal de comunicación que permita entregar información comprensible y accionable para el visitante podría traer consigo efectos negativos indeseados. La forma de traslado y actividades desarrolladas por los visitantes en el territorio podrían generar impactos ambientales negativos debido a la falta de información precisa sobre las implicancias de estas acciones.

El objetivo general del proyecto es diseñar e implementar una herramienta web que integra una calculadora de huella de carbono para las visitas turísticas a la reserva de biósfera, capaz de estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante la visita y entregar orientaciones concretas para reducirlas o compensarlas. Se caracterizan las fuentes de emisión de GEI relevantes y se define un modelo de cálculo pertinente para las actividades desarrolladas en el territorio. Se desarrolla una herramienta web para generar y desplegar la huella de carbono, se diseñó una estrategia de validación con usuarios y actores del territorio, donde se elaboran lineamientos para apoyar la gestión del turismo sustentable.

El proyecto demuestra la capacidad de integrar modelamiento de emisiones, desarrollo tecnológico y enfoque territorial en una solución replicable para otras áreas protegidas del país, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a la promoción de un turismo más responsable.

## Tabla de Contenidos

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. <i>Introducción</i> .....                                                                                  | 1  |
| 1.1 Antecedentes generales.....                                                                               | 1  |
| 1.2 Objetivos y descripción general del proyecto.....                                                         | 4  |
| 1.2.1 Objetivo general.....                                                                                   | 4  |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....                                                                             | 5  |
| 1.2.3 Aspectos generales de la metodología .....                                                              | 5  |
| 1.2.4 Descripción del entregable.....                                                                         | 6  |
| 1.2.5 Justificación del proyecto .....                                                                        | 6  |
| 1.3 Estructura del informe .....                                                                              | 8  |
| 2. <i>Descripción del contexto</i> .....                                                                      | 9  |
| 2.1 Caracterización de la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” ..... | 9  |
| 2.1.1 Ubicación geográfica, extensión y zonificación .....                                                    | 10 |
| 2.1.2 Ecosistemas y biodiversidad .....                                                                       | 12 |
| 2.1.3 Importancia ecosistémica y productiva del territorio.....                                               | 12 |
| 2.2 La industria del turismo en el territorio .....                                                           | 12 |
| 2.3 Problemáticas ambientales asociadas al turismo .....                                                      | 13 |
| 2.4 Necesidades de digitalización y gestión de datos para la sostenibilidad de la Reserva ..                  | 14 |
| 2.5 Revisión del Plan de Desarrollo Turístico y brechas detectadas .....                                      | 15 |
| 2.6 Requisitos del territorio para una herramienta de medición.....                                           | 16 |
| 3. <i>Estado del Arte y Revisión Bibliográfica</i> .....                                                      | 17 |
| 3.1 Huella de carbono en el sector turismo .....                                                              | 17 |
| 3.1.1 Definiciones .....                                                                                      | 17 |
| 3.1.2 Metodologías y estándares internacionales.....                                                          | 17 |
| 3.2 Particularidades chilenas en la medición de huella .....                                                  | 18 |
| 3.2.1 Factores de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).....                                           | 18 |
| 3.2.2 Programa HuellaChile y guías sectoriales .....                                                          | 19 |
| 3.2.3 Transporte interurbano y combustibles en Chile .....                                                    | 19 |
| 3.3 Benchmarking de herramientas digitales de medición disponibles.....                                       | 20 |
| 3.4 Turismo, datos y sistemas de información web.....                                                         | 21 |
| 3.4.1 El rol de la digitalización en la gestión de destinos .....                                             | 21 |
| 3.4.2 El visitante como agente de mitigación .....                                                            | 22 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5 Selección del conocimiento aplicable al diseño de la calculadora ..... | 22 |
| 4. <i>Marco teórico</i> .....                                              | 23 |
| 4.1 Turismo sustentable en áreas protegidas y Reservas de Biósfera .....   | 23 |
| 4.2 Gestión de impactos ambientales del turismo .....                      | 24 |
| 4.3 Huella de carbono como indicador de impacto climático .....            | 24 |
| 4.4 Capacidad de carga turística como enfoque complementario .....         | 25 |
| 4.5 Calculadoras de huella como instrumentos de gestión ambiental .....    | 26 |
| 5. <i>Metodología</i> .....                                                | 27 |
| 5.1 Enfoque metodológico del proyecto y objetivo del capítulo .....        | 27 |
| 5.2 Alcance del proyecto .....                                             | 28 |
| 5.2.1 Alcance funcional de la herramienta.....                             | 28 |
| 5.2.2 Alcance geográfico .....                                             | 28 |
| 5.2.3 Alcance temporal .....                                               | 28 |
| 5.2.4 Alcance en términos de usuarios y uso previsto .....                 | 29 |
| 5.3 Cronograma y fases de trabajo .....                                    | 29 |
| 5.4 Matriz metodológica por objetivo específico .....                      | 30 |
| 5.5 Diseño del cuestionario .....                                          | 30 |
| 5.6 Construcción del modelo de cálculo y supuestos .....                   | 31 |
| 5.7 Métodos de validación.....                                             | 32 |
| 5.7.1 Encuestas a visitantes.....                                          | 32 |
| 5.7.2 Pruebas piloto de usabilidad .....                                   | 33 |
| 5.8 Recursos utilizados .....                                              | 33 |
| 5.8.1 Recursos humanos .....                                               | 33 |
| 5.8.2 Recursos tecnológicos y de software .....                            | 33 |
| 5.8.3 Recursos de información.....                                         | 34 |
| 6. <i>Diseño detallado del sistema de cálculo y plataforma web</i> .....   | 35 |
| 6.1 Descripción general de la plataforma web .....                         | 35 |
| 6.1.1 Rol de la plataforma en el proyecto .....                            | 35 |
| 6.1.2 Justificación tecnológica: elección de Next.js y Vercel.....         | 36 |
| 6.2 Modelado de datos y estructura interna.....                            | 37 |
| 6.2.1 Capas funcionales y modelo de datos .....                            | 37 |
| 6.2.2 Arquitectura general del sistema .....                               | 38 |
| 6.3 Arquitectura de software y tecnologías seleccionadas .....             | 38 |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3.1 Framework de desarrollo: React y Next.js.....                                                 | 38 |
| 6.3.2 Despliegue serverless en Vercel: costos fijos, demanda estacional y eficiencia operativa..... | 39 |
| 6.3.3 Visualización y reportabilidad: Recharts y jsPDF .....                                        | 39 |
| 6.4 Módulo de identificación y parametrización del viaje .....                                      | 40 |
| 6.5 Supuestos y factores de emisión utilizados por módulo.....                                      | 41 |
| 6.5.1 Criterios generales para la construcción de factores.....                                     | 41 |
| 6.5.2 Alcances y limitaciones del modelo de factores .....                                          | 41 |
| 6.6 Cálculo final de CO <sub>2</sub> e .....                                                        | 42 |
| 6.6.1 Fórmulas y parametrización.....                                                               | 42 |
| 6.6.2 Supuestos críticos y análisis de sensibilidad.....                                            | 43 |
| 6.7 Interfaz de usuario, visualización de resultados y analítica.....                               | 43 |
| 6.8. Seguridad y privacidad de datos .....                                                          | 44 |
| 6.8.1 Posibilidades de escalamiento, replicabilidad y API pública .....                             | 44 |
| 6.9 Costos y mantención.....                                                                        | 45 |
| 7. <i>Resultados</i> .....                                                                          | 46 |
| 7.1 Resumen general de resultados obtenidos .....                                                   | 46 |
| 7.2 Funcionamiento del prototipo funcional.....                                                     | 47 |
| 7.3 Resultados del proceso de desarrollo .....                                                      | 48 |
| 7.4 Resultados de validación y pruebas piloto .....                                                 | 49 |
| 7.5 Hallazgos principales.....                                                                      | 50 |
| 8. <i>Discusión de resultados</i> .....                                                             | 51 |
| 8.1 Análisis e interpretación global de los resultados .....                                        | 51 |
| 8.2 Relación con el marco teórico y la literatura científica .....                                  | 52 |
| 8.3 Valor de la calculadora para la gestión del turismo sustentable y la gestión territorial ..     | 53 |
| 8.4 Eficiencia tecnológica, costos y escalabilidad del modelo serverless .....                      | 54 |
| 8.4.1 Eficiencia de costos frente a modelos tradicionales .....                                     | 54 |
| 8.4.2 Escalabilidad y rendimiento ante la demanda turística.....                                    | 54 |
| 8.5 Usabilidad, percepción de calidad y concientización ambiental .....                             | 55 |
| 8.6 Limitaciones de la herramienta y del estudio .....                                              | 55 |
| 8.7 Oportunidades para futuras versiones y recomendaciones basadas en evidencia .....               | 56 |
| 8.8 Implicancias para políticas públicas locales y para la ingeniería .....                         | 56 |
| 9. <i>Conclusiones y recomendaciones</i> .....                                                      | 57 |

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| <i>Glosario</i> .....                   | 61 |
| <i>Referencias Bibliográficas</i> ..... | 64 |
| <i>Anexos</i> .....                     | 68 |

## Lista de Tablas

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Resumen de principales problemáticas ambientales asociadas al turismo .....         | 14  |
| Tabla 2. Resumen comparativo de calculadoras de huella de carbono revisadas .....            | 21  |
| Tabla 3. Resumen metodológico del proyecto. ....                                             | 30  |
| Tabla 4. Ejemplo simplificado de relación entre categorías de emisión y alcances.....        | 41  |
| Tabla 5. Factores de emisión utilizados en Módulo Transporte (ida/regreso).....              | 106 |
| Tabla 6. Factores de emisión utilizados en Módulo Transporte (local dentro del destino)..... | 107 |
| Tabla 7. Factores de emisión utilizados en Módulo Alojamiento .....                          | 107 |
| Tabla 8. Factores de emisión utilizados en Módulo Alimentación.....                          | 108 |
| Tabla 9. Factores de emisión utilizados en Módulo Actividades .....                          | 108 |
| Tabla 10. Factores de emisión utilizados en Módulo Residuos y agua.....                      | 109 |
| Tabla 11. Factores de emisión utilizados en Módulo Resultado (equivalencias).....            | 109 |
| Tabla 12. Principales eventos en uso de analítica. ....                                      | 116 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Vista a Laguna Los Cóndores en P.N Laguna del Laja, Chile. ....                                  | 2   |
| Figura 2. Zonificación de la reserva de biósfera .....                                                     | 11  |
| Figura 8. Diagrama conceptual de la arquitectura del sistema.....                                          | 40  |
| Figura 11. Captura de pantalla del módulo de identificación en sitio web visualizado en portátil.<br>..... | 49  |
| Figura 3. Registro de huemul en Reserva Nacional Huemules de Niblinto.....                                 | 69  |
| Figura 4. Alcances del GHC Protocol .....                                                                  | 88  |
| Figura 5. Pasos para la estimación de la Huella de Carbono en una organización .....                       | 91  |
| Figura 9. Captura de pantalla de tarjeta introductoria al sitio web visualizado en portátil. ....          | 110 |
| Figura 12. Gráfico de barras de pregunta contenida en Encuesta de validación y percepción                  | 121 |
| Figura 13. Gráfico de barras de pregunta contenida en Encuesta de validación y percepción                  | 121 |
| Figura 14. Captura de pantalla de Reporte Panorámico “Usuarios activos por ciudad” del sitio<br>web .....  | 122 |
| Figura 15. Captura de pantalla de Reporte Panorámico “Usuarios nuevos” del sitio web .....                 | 123 |

## **1. Introducción**

El presente capítulo establece los fundamentos conceptuales y estratégicos que articulan el desarrollo de la herramienta de cálculo de huella de carbono para la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”. A través de este apartado, se exponen los antecedentes que posicionan al turismo como un motor de desarrollo territorial. Asimismo, se detallan los objetivos, el alcance metodológico y la justificación técnica de la propuesta, estableciendo el marco de referencia necesario para comprender el diseño e implementación del sistema de información que se desarrolla en las siguientes secciones.

### **1.1 Antecedentes generales**

El turismo en áreas naturales protegidas ha adquirido un rol preponderante y una relevancia estratégica en las últimas décadas debido a su capacidad para impulsar el desarrollo económico local, fortalecer la identidad territorial y promover la conservación de ecosistemas de alto valor ambiental. En tal sentido, la actividad turística puede favorecer el crecimiento económico de una zona geográfica si se reducen las fugas y se maximizan las conexiones con la economía local, a través del establecimiento de relaciones de cooperación entre las comunidades, el sector privado y el sector público. El turismo puede conformarse como parte integral del desarrollo sostenible de los territorios, generando beneficios económicos, sociales y ambientales para los distintos actores involucrados (stakeholders turísticos)<sup>1</sup> en el destino turístico (UNEP & UNWTO, 2005). Sin embargo, este sostenido crecimiento también ha generado presiones significativas sobre los recursos naturales, especialmente en zonas donde los ecosistemas presentan fragilidad ecológica y alta sensibilidad frente a variaciones en la intervención humana. Esta tensión entre las oportunidades económicas del turismo y los riesgos ambientales asociados exige desarrollar herramientas de gestión que permitan comprender, medir y mitigar los impactos derivados de la actividad turística (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Dentro del contexto de este escenario global, se cuenta con territorios que aportan soluciones locales a problemas mundiales, siendo verdaderos “lugares de aprendizaje para el desarrollo sostenible” (UNESCO, 2026) los cuales reciben el nombre de “Reserva de Biósfera”. Según el Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica (SINAC) las Reservas de Biosfera

---

<sup>1</sup> En la literatura de gestión se utiliza el término inglés *stakeholders* para referirse a estos actores, es decir, grupos que influyen o se ven afectados por la actividad turística.

son espacios del planeta reconocidos internacionalmente, que mantienen la soberanía de su respectivo país, seleccionados por el interés científico tanto en lo ecológico, biológico como cultural, y donde los pobladores de esos territorios desarrollan actividades socioeconómicas, humanas, y de conservación, procurando la sostenibilidad (SINAC, 2026).

En el caso de Chile, distintos instrumentos de política pública han reconocido que las áreas protegidas concentran una alta diversidad de paisajes, especies y servicios ecosistémicos, y que el turismo de naturaleza es uno de los segmentos de mayor crecimiento y atractivo para visitantes nacionales e internacionales (Ministerio del Medio Ambiente, 2016; Subsecretaría de Turismo, 2023). Dentro de este marco, con ubicación entre las regiones de Bío-Bío y Ñuble, la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” se posiciona como un territorio particularmente relevante. Su reconocimiento como reserva de biósfera el 29 de julio del año 2011 por parte de la UNESCO, responde a su función como corredor biológico que conecta ecosistemas críticos para la biodiversidad del centro-sur de Chile. Con una superficie de 565.807 hectáreas, su paisaje incluye volcanes activos, bosques nativos de alto valor ecológico, cuencas hidrográficas estratégicas (Figura 1), las cuales constituyen la base del potencial hidroeléctrico del país y una rica diversidad de flora y fauna, encontrando sectores donde habitan las especies más representativas, como es el caso del huemul (*Hippocamelus bisulcus*). Preservar las bellezas escénicas, evitar la destrucción de los suelos y proteger esta extensa área cordillerana es la finalidad, ya que sustentan procesos ecológicos esenciales (San Martín, 2014).



Figura 1. Vista a Laguna Los Cóndores en P.N Laguna del Laja, Chile.  
Fuente: trancas.cl

Paralelamente, la reserva de biósfera, de la mano de su enriquecido territorio, ha desarrollado una creciente vocación turística, con actividades que van desde deportes de nieve, senderismo, termalismo, ciclismo, cabalgata y turismo cultural. Esta combinación de patrimonio natural y dinamismo turístico convierte al corredor biológico en un laboratorio natural para el desarrollo de herramientas e instrumentos de gestión ambiental. No obstante, el aumento de visitantes genera impactos de gran relevancia, que muchas veces pueden pasar desapercibidos a nivel individual hasta cuando se analizan como flujos turísticos agregados.

Como plantea la guía “Cambio climático y turismo” de la Subsecretaría de Turismo (2024), el transporte de turistas ha mostrado un crecimiento sostenido y alcanzó en 2016 cerca de 1.600 millones de toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), representando alrededor del 5 % de las emisiones energéticas globales. Entre las principales fuentes de presión destacan el transporte motorizado, que constituye la mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a los visitantes; seguido del uso de calefacción en alojamientos, marcado fuertemente por la estacionalidad, con mayor índice en temporada invernal, lo que incrementa las emisiones de contaminantes climáticos, tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). A esto se suma el consumo energético estacional en centros de ski, que requiere electricidad para operar andariveles; y la generación de residuos sólidos, que se concentra en períodos de alta demanda, superando en ocasiones la capacidad de gestión de localidades como Las Trancas y San Fabián (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

La medición y cuantificación de estos impactos es fundamental por una serie de razones. Primero, la huella de carbono se ha consolidado como un indicador sintético para cuantificar las emisiones de GEI asociadas a actividades, organizaciones, eventos o territorios, expresadas en unidades de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ), y se reconoce como una herramienta de gestión que permite identificar conductas emisoras y oportunidades de mejora (Subsecretaría de Turismo, 2024).

En los últimos años, el estado de Chile se ha comprometido en una serie de metas climáticas ambiciosas, entre ellas alcanzar la carbono-neutralidad al año 2050, objetivo consagrado tanto en la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) como en la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N.º 21.455) (Congreso Nacional de Chile, 2022). Para ello, es necesario contar con herramientas significativas que permitan medir y reducir emisiones en sectores clave como transporte, energía, industria y, por las mismas sendas, gradualmente, turismo. Aunque, hoy en

día existen plataformas orientadas a calcular la huella de carbono personal o corporativa, estas herramientas no consideran la particularidad del turismo de montaña ni la diversidad de fuentes de emisiones asociadas a la visita a un destino específico. En consecuencia, persiste una brecha metodológica relevante: la ausencia de una herramienta adaptada al contexto turístico y ambiental de la Reserva de Biósfera.

Esta brecha existente no solo limita la capacidad de difusión y educación del destino, sino que, además, compromete a la restricción de que los administradores del lugar implementen estrategias basadas en datos cuantificables. En respuesta a esta necesidad, el presente proyecto propone el desarrollo de una plataforma digital para medir la huella de carbono de los visitantes, integrando factores de emisión locales, estándares internacionales y un diseño orientado a la experiencia del usuario. Esta herramienta permitirá que cualquier visitante, a través de un formulario accesible vía web o desde un teléfono móvil, estime su impacto en términos de emisiones de dióxido de carbono equivalente, identifique los factores que más contribuyen a su huella de carbono y, según sus decisiones de viaje, acceda a recomendaciones personalizadas que lo orienten de manera interactiva hacia una visita más sustentable.

## **1.2 Objetivos y descripción general del proyecto**

El diseño de una herramienta de cálculo de la huella de carbono requiere articular un conjunto de decisiones metodológicas y técnicas que aseguren la validez de los resultados y la pertinencia de la herramienta en el contexto de su aplicación. Este proyecto se estructura a partir de un objetivo general acompañado de objetivos específicos que orientan el proceso desde la definición del marco conceptual hasta la implementación tecnológica y validación de la herramienta.

### **1.2.1 Objetivo general**

Desarrollar y validar una herramienta digital para estimar la huella de carbono generada por los visitantes que acceden a la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”, considerando el contexto territorial, los estándares internacionales de medición y reporte, y las necesidades de usabilidad de los usuarios finales.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Definir el marco metodológico que fundamente el modelo de cálculo, identificando los factores de emisión necesarios para representar adecuadamente las actividades del visitante.
2. Diseñar un cuestionario estructurado y accesible que permita recoger datos relevantes del visitante en dimensiones como transporte, alojamiento, energía, actividades y residuos.
3. Implementar un prototipo web funcional utilizando tecnologías modernas con un diseño responsivo, orientado al usuario y capaz de generar recomendaciones de mitigación.
4. Validar la herramienta mediante usuarios, aplicando metodología técnica cualitativa para evaluar su precisión, claridad, aceptabilidad y utilidad para el visitante y los actores locales.

### **1.2.3 Aspectos generales de la metodología**

La metodología de este proyecto se estructura en torno a tres ejes complementarios: (i) la revisión y síntesis de marcos conceptuales sobre turismo sustentable, (ii) el desarrollo de un modelo cuantitativo de estimación de emisiones de GEI adaptado al contexto de la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” y (iii) el diseño e implementación de una herramienta web como sistema de información para la gestión.

En una primera etapa se estudiaron lineamientos internacionales de contabilidad de GEI y experiencias de medición de huella en destinos turísticos, con atención guiada en documentos de organismos especializados y programas oficiales de cuantificación de emisiones, lo que permitió definir principios generales para el modelo de cálculo y sus categorías de análisis.

Sobre esta base conceptual se construyó un modelo de estimación de huella de carbono a nivel de visita individual, organizado en seis bloques de impacto. Cada bloque se parametrizó mediante factores de emisión y supuestos coherentes con la realidad chilena y, en lo posible, con información específica del territorio de la reserva de biósfera. El modelo se operacionalizó a través de una plataforma web desarrollada bajo una arquitectura liviana y escalable, que guía al usuario en un flujo de pasos sucesivos y traduzca sus respuestas en emisiones expresadas en kilogramos de dióxido de carbono equivalente ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ), acompañadas de equivalencias pedagógicas y recomendaciones de mitigación.

De este modo, la metodología integra análisis bibliográfico, modelamiento cuantitativo y diseño de sistemas de información con una perspectiva aplicada, asegurando que la calculadora

responda tanto a estándares técnicos como a las necesidades concretas de gestión del turismo sustentable en la Reserva.

#### **1.2.4 Descripción del entregable**

El resultado del proyecto consiste en una herramienta digital interactiva diseñada bajo los principios de simplicidad, eficacia, transparencia y relevancia territorial. La herramienta presenta las siguientes características:

1. Cuestionario dinámico, que varía según la información ingresada.
2. Motor de cálculo basado en estándares internacionales, ajustado a la realidad chilena mediante factores de emisión locales.
3. Reporte de huella personalizada, que presenta el total de CO<sub>2</sub>e y un desglose por categoría, mediante un gráfico detallado.
4. Acciones de mitigación contextualizadas, alineadas con iniciativas como plantación de bosque nativo, movilidad compartida y eficiencia energética en alojamientos.
5. Exportación en PDF, permitiendo al usuario guardar su resultado.
6. Registro de métricas, útil para la administración de la reserva.

El entregable se concibe como la primera versión de una herramienta escalable, capaz de integrarse en el futuro a diferentes sistemas territoriales, plataformas municipales o iniciativas de sostenibilidad más amplias.

#### **1.2.5 Justificación del proyecto**

Primero, la relevancia ambiental, ya que el turismo en la zona genera emisiones que, aunque invisibles para el visitante individual, son significativas en su conjunto. La herramienta permite cuantificar estas emisiones y entregar recomendaciones prácticas que promuevan cambios de comportamiento. Segundo, existe una relevancia social y educativa, debido a esto, el visitante adquiere un rol activo en la protección del territorio. La herramienta funciona como un dispositivo pedagógico de concientización, facilitando la comprensión de conceptos complejos mediante equivalencias simples y sugerencias concretas. Luego, se tiene la relevancia territorial, en donde los administradores y operadores de turismo podrán acceder a métricas agregadas que

apoyan la planificación, permiten evaluar iniciativas y contribuyen a la toma de decisiones basada en evidencia.

Vinculado al concepto de la perspectiva de la Ingeniería Civil Industrial, este proyecto aborda el diseño e implementación de un Sistema de Información para la Gestión (MIS)<sup>2</sup> aplicado a la sostenibilidad, integrando conocimientos de programación, modelamiento de sistemas, análisis de datos, diseño de experiencia de usuario y gestión ambiental, al resolver un problema complejo y multidimensional. El desarrollo no se limita a la codificación de software, sino que implica la modelación matemática de un proceso productivo “la experiencia turística”. En coherencia con ese perfil, el desarrollo propuesto no se limita a la codificación de software, sino que implica la modelación matemática de un proceso productivo en este caso, la experiencia turística como “sistema” de actividades y la creación de mecanismos de retroalimentación para el usuario. Tal como plantea Aguirre-Munizaga (2025), estos sistemas se han convertido en herramientas esenciales para monitorear desempeño y apoyar decisiones en contextos de alta complejidad. Es así como se facilita la gestión eficiente de los recursos y la identificación de puntos críticos de impacto en la cadena de valor del turismo local.

Cabe destacar que, la importancia también radica en su contribución directa a la competitividad del destino. Según el Plan de Desarrollo Turístico de la Reserva (2024), se establece explícitamente el fomento de emprendimientos turísticos sostenibles y la medición del impacto ambiental como ejes estratégicos. Al proveer de una herramienta tecnológica propia para la gestión del carbono, se fortalece la imagen del Corredor Biológico como un destino inteligente y responsable, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)<sup>3</sup>, específicamente con la Acción por el Clima (ODS 13) y la Vida de Ecosistemas Terrestres (ODS 15). Además, la herramienta fomenta la economía circular y local al sugerir acciones de compensación que vinculan al visitante con proveedores y programas de restauración del territorio.

---

<sup>2</sup> En este informe entiende por Sistema de Información para la Gestión (Management Information System, MIS) una aplicación que recopila procesa y presenta información relevante para apoyar la toma de decisiones y el control de la organización.

<sup>3</sup> Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) corresponden a la agenda global adoptada por las Naciones Unidas que define 17 objetivos interrelacionados para avanzar en dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible.

### 1.3 Estructura del informe

El informe se organiza en capítulos que abordan, de manera progresiva, el contexto, la revisión teórica, la metodología aplicada, los resultados obtenidos y las conclusiones del proyecto. La estructura se detalla a continuación:

1. **Descripción del contexto:** Presenta las características ambientales, sociales y turísticas de la Reserva, analiza problemas actuales y justifica la pertinencia del proyecto en el territorio.
2. **Revisión bibliográfica:** Aborda literatura sobre medición de huella de carbono, estándares internacionales y herramientas digitales comparables. Justifica la selección del marco conceptual utilizado.
3. **Marco teórico:** Desarrolla en profundidad el modelo conceptual del cálculo, los factores de emisión, los alcances y las decisiones metodológicas aplicadas.
4. **Estrategia de aplicación y metodología:** Describe la metodología empleada, los instrumentos utilizados, la lógica del desarrollo y el proceso para implementar y validar la plataforma.
5. **Resultados:** Expone los resultados tanto del producto digital como del proceso de validación.
6. **Discusión:** Relaciona los resultados con la teoría, evalúa la pertinencia y analiza las limitaciones del proyecto.
7. **Conclusiones:** Responde explícitamente a cada objetivo planteado y propone líneas de trabajo futuro.

## **2. Descripción del contexto**

El presente capítulo tiene como objetivo caracterizar de manera integral el escenario geográfico, ecológico y socioeconómico en el que se enmarca este proyecto. Para comprender la pertinencia de una herramienta de medición de huella de carbono, es fundamental analizar primero la dualidad de este territorio, donde la conservación de ecosistemas vulnerables y especies emblemáticas coexiste con una actividad turística en constante expansión. A continuación, se describirá la zonificación y biodiversidad del área, se examinarán las dinámicas de la industria turística local y se identificarán las brechas tecnológicas actuales.

### **2.1 Caracterización de la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”**

La Reserva de Biosfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” se puede considerar como una de las áreas protegidas cordilleranas más relevantes del centro-sur de Chile, esto debido a su función ecológica como corredor de biodiversidad al igual que a su relevante importancia socioeconómica para las comunidades habitantes de sus zonas de transición.<sup>4</sup> En este territorio coexisten procesos naturales de gran dinamismo, como la actividad volcánica, la presencia de glaciares y precipitación de nieve, con actividades humanas intensivas, entre las que destacan los deportes de aventura y el turismo de montaña en sus diferentes formas. Este bagaje de oportunidades se enmarca en el Programa “Hombre y Biosfera” de la UNESCO, que convierte al “Corredor” en un caso emblemático donde la planificación territorial, la gobernanza ambiental y la actividad turística se encuentran estrechamente vinculadas.

Asimismo, la reserva de biosfera provee un espacio único para el esparcimiento y la protección de especies emblemáticas como el huemul, incorporando inclusive una Reserva Nacional enfocada en su cuidado.<sup>5</sup> Es un área clave para conservación, al resaltar la confluencia de dos ecosistemas amenazados, siendo estos la transición de vegetación entre el bosque esclerófilo de la zona central y el bosque templado del sur. Teniendo como pilar, el buscar visibilizar y difundir el concepto de Reserva de Biosfera, como una poderosa herramienta para avanzar e impulsar la

---

<sup>4</sup>Las zonas de transición corresponden al área más externa de la Reserva de la Biósfera, donde se concentran los asentamientos humanos y las actividades productivas.

<sup>5</sup> Reserva Nacional Los Huemules del Niblinto.

sostenibilidad del territorio, su gestión ambiental y fomento productivo (Red Mundial de Reservas de Biosfera de Montaña, 2024).

### **2.1.1 Ubicación geográfica, extensión y zonificación**

La reserva de biósfera se encuentra emplazada en la zona andina cordillerana de las regiones de Ñuble y Biobío. En la región de Ñuble forman parte, de norte a sur, las comunas de San Fabián, Coihueco, Pinto, El Carmen, Pemuco y Yungay, para el caso de la región de Biobío, las comunas de Tucapel y Antuco. El eje geográfico principal lo constituyen el complejo volcánico Nevados de Chillán y el sistema de Laguna del Laja, cuyos entornos inmediatos se encuentran con variedad de bosques nativos, preponderancia de árbol *Nothofagus*, formaciones recosas, glaciares de montaña y una red de ríos que alimentan una cantidad significativa de cuencas hidrográficas regionales. La altitud del territorio abarca sectores precordilleranos de alrededor de 800–1.000 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) y áreas altoandinas que superan los 3.000 m s. n. m., configurando gradientes altitudinales que influyen en los tipos de vegetación, los pisos climáticos y los usos del suelo (Pfanzelt, Grau, & Rodríguez, 2008).

Con una extensión aproximada de 565.807 hectáreas, el “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” se configura al igual que otras Reservas de la Biósfera reconocidas por la UNESCO, bajo una estructura de zonificación tripartita, compuesta por zona núcleo, zona de amortiguación y zona de transición (UNESCO, 2011). Como se observa en la Figura 2, esta zonificación se distribuye espacialmente a lo largo del territorio de la reserva, permitiendo distinguir las áreas destinadas prioritariamente a la conservación, aquellas orientadas al uso sostenible y las zonas donde se concentran con mayor intensidad las actividades humanas. Al respecto, de su superficie total, un 17% corresponde a la zona núcleo, un 70% a la zona de amortiguación y el 13% a la zona de transición. Al mismo tiempo, toda su área abarca un 6,9% de las reservas de biósfera en Chile.

La zona núcleo tiene una superficie de 96.843 hectáreas, constituida de tres áreas silvestres protegidas por el Estado de Chile y bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF): Parque Nacional Laguna del Laja (11.890 ha), Reserva Nacional Ñuble (75.078 ha) y Reserva Nacional Los Huemules de Niblinto (2.023 ha). A estas unidades se agrega el Santuario de la Naturaleza Los Huemules de Niblinto (7.852 ha), declarado como tal por el Ministerio de Educación y administrado por el Comité Nacional Pro-Defensa de la Fauna y Flora (CODEFF). La zona de amortiguación tiene por su parte una superficie de 395.010

hectáreas que están compuestas, en general, por grandes predios privados dedicados a la ganadería y la industria forestal. Finalmente, la zona de transición cuenta con una superficie de 73.954 hectáreas, que se localizan principalmente en torno a los ejes camineros que penetran la zona cordillerana (San Martín, 2014).

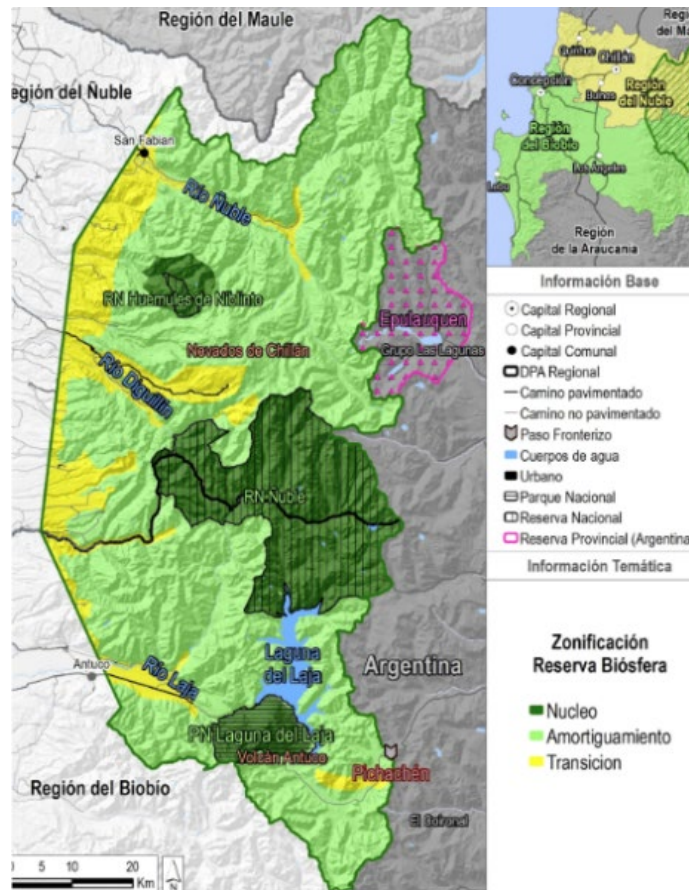


Figura 2. Zonificación de la reserva de biosfera  
Fuente: <https://reservabiosferanuble.udec.cl/>

Las estructuras geográficas descritas nos permiten comprender que la presión turística no se distribuye homogéneamente dentro del territorio, sino que se concentra principalmente en las zonas de amortiguación y transición, especialmente en sectores como el valle de Las Trancas, los accesos al centro de ski, las áreas termales y algunos valles cordilleranos de San Fabián y Antuco. La zonificación, por tanto, constituye un marco de referencia fundamental para evaluar la pertinencia y el impacto de las actividades turísticas, así como para diseñar herramientas específicas de gestión ambiental, como es el caso de una calculadora de huella de carbono adaptada a las realidades locales.

### **2.1.2 Ecosistemas y biodiversidad**

La reserva acoge un abanico de ecosistemas entre los cuales se encuentra bosques templados de montaña, bosques caducifolios y siempreverdes, matorrales de alta montaña, humedales, sistemas lacustres y turberas, como señala Iturraspe (2010) estas últimas claves en la regulación del cambio climático y en la reducción del dióxido de carbono. Además, de paisajes volcánicos, glaciares y saltos. Esta gran diversidad ofrece hábitats para una amplia gama de especies de flora y fauna, muchas de ellas que se encuentran con distribución restringida, ya sea por las características propias de la especie como por el emplazamiento creciente del ser humano y otras se encuentran en alguna categoría de amenaza. Entre las especies animales más destacadas se encuentran el huemul (*Hippocamelus bisulcus*), el pudú (*Pudu puda*), el carpintero negro (*Campephilus magellanicus*), el puma (*Puma concolor*) y diversos carnívoros y aves rapaces que ocupan nichos ecológicos clave para la estabilidad del sistema (Moreira-Muñoz & Borsdorf, 2014). La presencia del huemul en este territorio ha sido registrada en la Reserva Nacional Huemules de Niblinto, como se presenta en Anexo A, Figura 3. En el ámbito de la flora, el 92% de esta reserva abarca la formación del Bosque caducifolio, mientras que un 7% abarca el Matorral bajo de altitud (Pliscoff & Luebert, 2008). Encontrando especies como el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y diferentes especies de Nothofagus, que dan forma a paisajes boscosos emblemáticos del sur de Chile (Ministerio del Medio Ambiente, 2025).

### **2.1.3 Importancia ecosistémica y productiva del territorio**

La importancia del territorio trasciende la esfera estrictamente ecológica y se extiende su entramado a la dimensión productiva y cultural. Lo que refuerza la necesidad de herramientas de gestión que permitan monitorear impactos del turismo y orientar decisiones locales. Estos antecedentes se encuentran ampliados en Anexo A.

## **2.2 La industria del turismo en el territorio**

La industria del turismo en el ámbito de la reserva de biósfera y sus áreas de influencia directas han experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, impulsado por la creciente valorización del paisaje cordillerano, así como por el aún mayor crecimiento en la visualización de estos destinos por medios digitales, han atraído a visitantes y ayudado a la consolidación del centro de ski de Nevados de Chillán como destino invernal, la expansión de la oferta de alojamiento rural y el interés creciente por el turismo de naturaleza y aventura. Este proceso ha ido transformando paulatinamente la estructura socioeconómica de las comunas cordilleranas,

que han pasado de depender principalmente de actividades agropecuarias y forestales a incorporar el turismo como uno de sus principales motores de desarrollo.

Aunque en la actualidad hay diferencias entre comunas y valles, se pueden identificar algunos rasgos que marcan distinción dentro de la industria turística en el territorio. Primero, la actividad presenta una fuerte estacionalidad, con picos de demanda durante el invierno, asociados al turismo de nieve, y en el verano, ligados a actividades de trekking, bicicleta de montaña, cabalgatas, deportes acuáticos en ríos y lagunas, y turismo termal (UNWTO, 2019). Segundo, si bien existe oferta turística de alta escala con presencia hotelera, predomina la de pequeña y mediana escala, con una amplia dispersión de cabañas, hostales, lodges y emprendimientos familiares, muchos de los cuales operan con niveles variables de formalización y acceso a información técnica (Subsecretaría de Turismo, 2018). Tercero, la industria depende en gran medida del transporte privado, tanto para el acceso al territorio como para los desplazamientos internos, lo que incrementa su vulnerabilidad en términos de huella de carbono.

En este tipo de territorios se encarna una tensión entre conservación y producción: por un lado, se requiere mantener la integridad ecológica y los servicios ecosistémicos; por otro, se busca aprovechar el potencial turístico y productivo que ofrece el paisaje cordillerano (Schirpke et al., 2020). El desafío consiste en encontrar mecanismos de gestión que permitan “hacer visibles” los impactos ambientales de la actividad económica y del turismo, de manera que la toma de decisiones no se base únicamente en criterios económicos de corto plazo, sino en una perspectiva de sustentabilidad a largo plazo. La medición de la huella de carbono turística se inscribe precisamente en este esfuerzo, al proporcionar un indicador cuantitativo que ayuda a conectar las decisiones individuales del visitante con los efectos acumulativos sobre el clima y los frágiles ecosistemas.

Se presentan en el Anexo B los antecedentes detallados sobre perfil del visitante (2.2.1), dinámica de demanda, oferta turística y estacionalidad.

### **2.3 Problemáticas ambientales asociadas al turismo**

La expansión del turismo en la Reserva de la Biósfera y sus alrededores no es neutra desde el punto de vista ambiental, como se presenta en Tabla 1. La literatura internacional señala que esta actividad contribuye de manera importante a la emisión de GEI, a la presión sobre fuentes

de agua y a la generación de residuos, especialmente en destinos con capacidad de carga ambiental e infraestructura limitada (UNEP & UNWTO, 2005).

Las principales problemáticas ambientales relevantes para el presente proyecto: Impacto del transporte y la conectividad rural Uso de leña, gestión de residuos y consumo hídrico Actividades de nieve y consumo energético, Presión sobre la capacidad de carga e infraestructura, se describen en detalle en el Anexo C.

Tabla 1. Resumen de principales problemáticas ambientales asociadas al turismo

| Dimensión               | Problema principal                           | Causa asociada                                         | Consecuencia                               |
|-------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Emisiones de GEI</b> | Alto uso de vehículos privados               | Distancias largas, baja ocupación                      | Huella de carbono elevada                  |
| <b>Calidad del aire</b> | Quema de leña en valles                      | Calefacción en cabañas                                 | Contaminación local                        |
| <b>Residuos sólidos</b> | Acumulación en temporada alta                | Infraestructura limitada                               | Riesgo sanitario/paisajístico              |
| <b>Agua</b>             | Sobrecarga de APR y tratamiento insuficiente | Alta población flotante                                | Estrés hídrico, contaminación              |
| <b>Ecosistemas</b>      | Perturbación de fauna y suelos               | Actividades motorizadas y alta presencia de visitantes | Pérdida de hábitat, erosión, fragmentación |

Fuente: Elaboración Propia

## 2.4 Necesidades de digitalización y gestión de datos para la sostenibilidad de la Reserva

La complejidad geográfica del territorio y el aumento progresivo de la oferta turística hacen evidente la necesidad crítica de avanzar hacia la digitalización y la gestión sistemática de datos como habilitadores de la sostenibilidad. La experiencia internacional demuestra que las herramientas digitales no solo optimizan la experiencia del visitante, sino que desempeñan un rol fundamental en la transición hacia modelos de gestión inteligentes, al facilitar la trazabilidad de los impactos, la interacción directa con el usuario y la evaluación continua de indicadores de desempeño ambiental (UNWTO, 2019).

En el contexto actual de la reserva de biósfera, la carencia de sistemas integrados de información representa una barrera significativa para la planificación estratégica. Datos críticos para la buena toma de decisiones, tales como el volumen exacto de flujos de visitantes en tiempo real, la partición modal del transporte (auto propio vs. transporte público) y los patrones de consumo energético en hospedajes, se encuentran dispersos en planillas aisladas, son inexistentes o se basan en estimaciones estáticas que no reflejan la dinámica real del destino. Esta asimetría de

información impide a los organismos administradores (municipios, CONAF, entre otros.) diseñar políticas públicas de precisión y evaluar la efectividad de las medidas de conservación implementadas.

En este escenario, el despliegue de soluciones tecnológicas como la calculadora de huella de carbono propuesta tiene el potencial no solo de informar al visitante sobre su propio impacto, sino también de convertirse en un instrumento de recolección de datos agregados para la gestión territorial, traduciendo la complejidad de la termodinámica de los GEI a un lenguaje funcional para la concientización y toma de decisiones. La sistematización de esta información habilita un ciclo virtuoso de gestión basada en evidencia<sup>6</sup>, en paralelo, mediante la captura y procesamiento de datos, bajo anonimización y resguardo de privacidad, la herramienta permite consolidar una base de conocimiento sobre el comportamiento de la demanda: pudiendo registrar información sobre orígenes de los viajes, estadía promedio, preferencias de actividades y vectores de emisión predominantes. De esta manera, la tecnología deja de ser un fin en sí misma para convertirse en el puente estratégico entre el comportamiento individual del turista y la planificación colectiva de la sostenibilidad territorial, tal como sugieren modelos avanzados de gestión de destinos (Gössling y Scott, 2018).

## **2.5 Revisión del Plan de Desarrollo Turístico y brechas detectadas**

La ficha técnica diseñada para la gestión del territorio, el Plan de Desarrollo Turístico, establece explícitamente la urgencia de alinear el crecimiento económico con la capacidad de carga de los ecosistemas. Según Muñoz Rebolledo (2024), en su diagnóstico para la propuesta del Plan, se identifica que la sustentabilidad y el fomento productivo deben actuar como ejes inseparables para posicionar a la reserva de biósfera como un destino de clase mundial. El documento enfatiza la necesidad de sofisticar la oferta turística y fortalecer la identidad territorial, pero advierte sobre la carencia crítica de "sistemas de inteligencia turística" que permitan monitorear el desempeño ambiental del destino en tiempo real. En síntesis, se plantea que una de las líneas de acción prioritarias es la "medición del impacto ambiental y la compensación de huella", reconociendo que sin una línea base cuantitativa es imposible establecer metas de reducción verificables.

---

<sup>6</sup> El enfoque de *Data-Driven Decision Making* alude a procesos de toma de decisiones en los que la planificación y la gestión se sustentan explícitamente en el análisis sistemático de datos e indicadores, y no solo en criterios subjetivos o percepciones.

## **2.6 Requisitos del territorio para una herramienta de medición**

Teniendo en consideración el contexto descrito, una herramienta de medición de huella de carbono para la Reserva de Biosfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” debe responder a un conjunto de requisitos mínimos. Primero, debe ser accesible para visitantes con distintos niveles de alfabetización digital<sup>7</sup>, lo que implica un diseño sencillo, instrucciones claras y compatibilidad con dispositivos móviles (Android, IOS, HMS, entre otros). Segundo, debe estar adaptada al contexto local, incorporando factores de emisión representativos de los modos de transporte y fuentes energéticas predominantes, así como categorías de actividades vinculantes para el turismo de montaña. En tercer lugar, debe ser flexible y actualizable, de modo que pueda incorporar nuevas fuentes de datos, corregir supuestos metodológicos y adaptarse a cambios en la matriz energética o en la siempre fluctuante oferta turística. Finalmente, debe ofrecer posibilidades de integración con la gestión territorial, al permitir la generación de reportes agregados que puedan ser utilizados por los municipios, la administración de la Reserva y otros actores para monitorear tendencias y diseñar estrategias de mitigación y compensación.

---

<sup>7</sup> La alfabetización digital hace referencia a la capacidad de acceder, gestionar y utilizar herramientas digitales de manera efectiva y ética, permitiendo a los individuos participar plenamente en la sociedad digital.

### **3. Estado del Arte y Revisión Bibliográfica**

Este capítulo presenta el estado del arte y la base conceptual que sustentan el diseño de la calculadora de huella de carbono propuesta para la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”. Su propósito es revisar los principales enfoques teóricos, metodológicos y técnicos relacionados con la medición de emisiones en el sector turístico, identificando marcos internacionales, herramientas existentes y experiencias aplicadas a nivel nacional e internacional.

#### **3.1 Huella de carbono en el sector turismo**

##### **3.1.1 Definiciones**

La huella de carbono se ha consolidado como un indicador clave para cuantificar el impacto climático de actividades, productos, organizaciones, territorios y sistemas, dentro de la gestión de la sustentabilidad. De acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente (2025), corresponde a la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto, en un periodo determinado, expresados en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Esta definición ha sido adoptada y operativizada por distintos marcos metodológicos que, aunque fueron concebidos inicialmente para aplicaciones corporativas o nacionales, han sido progresivamente aplicados a sectores específicos, entre ellos el turismo.

##### **3.1.2 Metodologías y estándares internacionales**

El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) constituye una base científica y técnica fundamental para la cuantificación de emisiones. Creado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988, desarrolla evaluaciones integrales sobre cambio climático, sus causas, impactos y estrategias de respuesta (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2026). Aunque su foco principal son los inventarios nacionales, su estructura por categorías y su enfoque basado en factores de emisión sustentan múltiples metodologías sectoriales, incluidas aquellas aplicadas al turismo.

A nivel organizacional, el GHG Protocol se ha consolidado como el estándar de referencia para la contabilidad de GEI. El Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI establece principios de relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión, además de lineamientos para definir límites organizacionales y métodos de cálculo (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2004).

Complementariamente, la Norma de Contabilidad y Reporte de la Cadena de Valor Corporativa (Alcance 3) permite evaluar emisiones indirectas generadas a lo largo de la cadena de valor, dimensión particularmente importante en sectores como el turismo, donde el uso del servicio por parte del cliente representa una fracción significativa de la huella (Greenhouse Gas Protocol, 2011).

En paralelo, la norma ISO 14064 proporciona especificaciones y orientaciones para la cuantificación, monitoreo y reporte de GEI a nivel organizacional y de proyectos. La ISO 14064-1:2018 establece principios y requisitos para cuantificar y reportar emisiones y remociones de GEI, incluyendo el diseño y gestión de inventarios (International Organization for Standardization, 2018). Si bien no fue diseñada específicamente para turismo, se utiliza en empresas del sector permite reportar desempeño ambiental con reconocimiento internacional.

En el ámbito turístico, el Hotel Carbon Measurement Initiative (HCMI) surge como una metodología sectorial para la hotelería, liderada por el World Travel & Tourism Council y la Sustainable Hospitality Alliance. Esta iniciativa permite calcular y comunicar la huella de carbono de estadías y eventos a partir de parámetros estandarizados, tales como consumo energético, combustibles, refrigerantes y ocupación (Sustainable Hospitality Alliance, 2020). No obstante, en territorios complejos como la Reserva de Biósfera, la falta de estandarización en servicios rurales obliga a adaptar estas metodologías a modelos simplificados gestionables por visitantes o microempresarios (Muñoz Rebolledo, 2024).

### **3.2 Particularidades chilenas en la medición de huella**

#### **3.2.1 Factores de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)**

En Chile, un elemento central para estimar la huella de carbono asociada al consumo eléctrico es el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Este factor ha mostrado una disminución sostenida debido a la mayor penetración de energías renovables no convencionales, situándose en valores cercanos a 0,24 kgCO<sub>2</sub>e/kWh en actualizaciones recientes (Ministerio de Energía, 2025). Para el presente proyecto, utilizar factores nacionales resulta clave, ya que recurrir a promedios mundiales podría distorsionar la estimación de las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico en alojamientos y servicios turísticos de la reserva. En esta línea, el sistema propuesto se alimenta de los valores reportados por el Coordinador Eléctrico Nacional (2022), reflejando de mejor manera la realidad energética de la zona centro-sur. Asimismo, las

guías técnicas de esta misma entidad evidencian un esfuerzo institucional por transparentar esta información y facilitar su uso en estudios sectoriales.

### **3.2.2 Programa HuellaChile y guías sectoriales**

El Programa HuellaChile, impulsado por el Ministerio del Medio Ambiente, constituye el principal marco nacional para el cálculo, reporte y gestión de huella de carbono en organizaciones públicas y privadas. Su relevancia radica en que ofrece una plataforma en línea, sellos de reconocimiento y factores de emisión para categorías como combustibles, electricidad, transporte y residuos. De forma complementaria, otros organismos sectoriales han desarrollado guías específicas. El Ministerio de Obras Públicas (MOP), por ejemplo, dispone de una “Guía de Huella de Carbono para proyectos del MOP”, que incorpora la variable carbono en la evaluación ambiental de infraestructura (Dirección General de Obras Públicas, 2025). En turismo, la Subsecretaría de Turismo y el Ministerio del Medio Ambiente, en la “Guía de Adaptación al Cambio Climático para el Turismo”, destacan la necesidad de levantar inventarios de emisiones que incluyan la movilidad de los turistas, identificando este componente como uno de los principales desafíos para la carbono-neutralidad del sector hacia 2050 (Contreras López et al., 2022).

### **3.2.3 Transporte interurbano y combustibles en Chile**

El transporte presenta particularidades relevantes para la estimación de la huella de carbono en viajes turísticos dentro del territorio nacional. En Chile predomina el automóvil particular y el bus interurbano, mientras que el transporte aéreo interno tiene todavía una participación menor. Según Muñoz Rebolledo (2024), en la reserva de biósfera la conectividad depende en gran medida del vehículo particular y de caminos que, en invierno, exigen vehículos de mayor consumo, alterando el rendimiento estándar del combustible. Los factores de emisión de gasolina, diésel y GLP pueden obtenerse desde bases internacionales como DEFRA o IPCC, así como desde las tablas del programa HuellaChile, que incorporan la composición de combustibles y la normativa nacional (Ministerio del Medio Ambiente, 2024). En consecuencia, el transporte terrestre se configura como un componente dominante de la huella de carbono en gran parte de los viajes turísticos hacia la zona.

### 3.3 Benchmarking de herramientas digitales de medición disponibles

La revisión de herramientas digitales de cálculo de huella de carbono permite identificar buenas prácticas y limitaciones relevantes para el diseño de la calculadora orientada a la Reserva de la Biósfera. Entre las calculadoras ciudadanas, “MiHuella”<sup>8</sup> destaca por su adaptación al contexto chileno y por emplear factores de emisión nacionales, aunque su enfoque se orienta a la huella anual de la persona y no a viajes específicos. “ClimateHero”<sup>9</sup> presenta una experiencia de usuario atractiva y recomendaciones de reducción, pero utiliza factores y supuestos basados principalmente en Europa. La “EPA Household Carbon Footprint Calculator”<sup>10</sup> sobresale por su transparencia metodológica y documentación de factores de emisión, aunque está diseñada para hogares estadounidenses. “Project Neutral”<sup>11</sup> agrega un componente comunitario y pedagógico, mientras que “Greenpeace México”<sup>12</sup> enfatiza la acción y la educación climática más que la profundidad metodológica.

Por otro lado, las plataformas corporativas y sectoriales, incluyendo soluciones comerciales y metodologías como HCMI, presentan una elevada robustez metodológica y trazabilidad, pero requieren información detallada y capacidades técnicas que exceden las posibilidades de un visitante individual. En este sentido, aportan principalmente criterios de integridad metodológica y formatos de visualización de resultados.

La comparación crítica evidencia una brecha funcional: las calculadoras ciudadanas logran traducir conceptos complejos en cuestionarios simples y comprensibles, pero no están diseñadas para evaluar la huella de un viaje turístico específico a un destino de montaña. A su vez, las plataformas corporativas poseen solidez metodológica, pero resultan poco accesibles para usuarios no especializados. Así, ninguna herramienta revisada responde plenamente al contexto del turismo de montaña en Chile. Esta brecha justifica el desarrollo de una herramienta que combine factores de emisión locales, preguntas adaptadas a transporte, calefacción y actividades estacionales, y una interfaz clara, pedagógica y progresiva.

La Tabla 2 muestra el resumen comparativo de calculadoras de huella de carbono descritas.

---

<sup>8</sup> Fuente: <https://www.mihuella.cl/>

<sup>9</sup> Fuente: <https://calculadora-carbono.climatehero.org/>

<sup>10</sup> Fuente: <https://www.epa.gov/ghgemissions/household-carbon-footprint-calculator>

<sup>11</sup> Fuente: <https://app.projectneutral.org/our-carbon-footprint-calculator>

<sup>12</sup> Fuente: <https://consumoresponsable.greenpeace.org.mx/calcula-tu-huella-de-carbono>

Tabla 2. Resumen comparativo de calculadoras de huella de carbono revisadas

| Calculadoras Web                                                                                                                                                            | Pros                                                                                                                             | Contras                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MiHuella:</b> herramienta ciudadana en línea para estimar la huella anual de una persona en Chile, basada en hábitos de energía, transporte y consumo.                   | Contexto nacional, lenguaje sencillo, entrega recomendaciones de reducción y permite registrar resultados a lo largo del tiempo. | Cobertura limitada a nivel individual, sin módulos específicos para viajes turísticos ni exportación detallada de resultados.                         |
| <b>ClimateHero:</b> calculadora personal de estilo de vida que estima emisiones en categorías de vivienda, viajes y consumo en aproximadamente 5 minutos.                   | Experiencia de usuario muy simple, compara el resultado con un objetivo de “héroe del clima” y sugiere compromisos de reducción. | Factores de emisión y supuestos basados en promedios internacionales, menor transparencia metodológica y sin foco en destinos turísticos específicos. |
| <b>Household Carbon Footprint Calculator:</b> calculadora para hogares que estima emisiones por energía residencial, transporte y residuos.                                 | Metodología documentada y transparente, con supuestos y fuentes de datos publicados, útil como referencia de buenas prácticas.   | Diseñada para Estados Unidos, con factores de emisión de su red eléctrica y patrones de consumo que no se ajustan al contexto chileno.                |
| <b>Project Neutral:</b> calculadora gratuita para hogares que combina encuesta corta y módulos de “profundización” en energía, transporte, vuelos, residuos y alimentación. | Enfoque pedagógico en cambios de comportamiento, entrega comparaciones con hogares similares y prioriza acciones de reducción.   | Limitada a idioma inglés y contexto canadiense, sin énfasis en experiencias turísticas ni en infraestructura específica de montaña.                   |
| <b>Compare Your Footprint:</b> plataforma de pago orientada a organizaciones que permite calcular emisiones de Alcance 1, 2 y 3 y hacer seguimiento anual.                  | Enfoque empresarial, capacidad de modelar distintos escenarios y reportabilidad alineada con estándares internacionales.         | No está pensada para usuarios individuales ni turistas, requiere pago de licencia y datos más detallados de actividad.                                |
| <b>Calculadora de Greenpeace México:</b> test en línea basado en hábitos de consumo y movilidad.                                                                            | Fuerte componente educativo sobre consumo responsable y cambio climático, con consejos detallados para reducir la huella.        | Contexto metodológico y comunicacional centrado en México, sin incorporar actividades turísticas específicas ni variables locales de la Reserva.      |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4 Turismo, datos y sistemas de información web

#### 3.4.1 El rol de la digitalización en la gestión de destinos

La transición hacia destinos turísticos inteligentes requiere del uso estratégico de datos. Según el Servicio Nacional del Turismo, la digitalización debe entenderse como un medio para mejorar la competitividad y sustentabilidad de los destinos, más que como un fin en sí mismo (Subsecretaría de Turismo, 2024). En este contexto, las herramientas web permiten captar información de comportamiento que las estadísticas tradicionales no registran. A nivel local, la Universidad de Concepción y el Gobierno Regional de Ñuble señalan que la gestión de la Reserva enfrenta una “asimetría de información”, debido al desconocimiento de patrones finos de consumo de los visitantes (Muñoz Rebolledo, 2024). Desde esta perspectiva, una calculadora

web puede cumplir una doble función: educar ambientalmente al turista y, al mismo tiempo, generar datos agregados útiles para la gestión territorial, respetando la privacidad del usuario.

### **3.4.2 El visitante como agente de mitigación**

La literatura reciente muestra que el visitante no debe ser entendido solo como objeto de medición, sino también como actor clave en la mitigación de impactos y en la generación de información. Decisiones individuales, como el modo de transporte, la duración de la estadía, el tipo de alojamiento o la participación en actividades, pueden modificar significativamente la huella total del viaje, especialmente en destinos de naturaleza donde el transporte terrestre tiene un peso considerable (Gössling et al., 2023). En Chile, documentos de la Subsecretaría de Turismo en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente, enfatizan la necesidad de avanzar desde percepciones generales hacia datos cuantitativos, involucrando a turistas, prestadores y destinos en procesos de aprendizaje y cambio de comportamiento (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

### **3.5 Selección del conocimiento aplicable al diseño de la calculadora**

A partir de la revisión realizada, es posible identificar los componentes del estado del arte directamente aplicables al diseño de la calculadora para la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”. En primer lugar, se incorpora el enfoque conceptual del GHG Protocol y de los alcances 1, 2 y 3, no para construir un inventario corporativo completo, sino para ordenar las categorías de emisiones relevantes del visitante: transporte, energía en alojamiento, actividades y residuos. En segundo lugar, se adoptan como base metodológica las directrices del IPCC y los factores de emisión nacionales, especialmente los del SEN y de combustibles reportados por el Ministerio del Medio Ambiente y HuellaChile (Ministerio del Medio Ambiente, 2024). En tercer lugar, se toma como referencia HCMI para traducir consumos agregados de alojamiento en emisiones por visitante y por noche, adaptando su lógica a un cuestionario simplificado (Sustainable Hospitality Alliance, 2020). Finalmente, desde la perspectiva de la experiencia de usuario, se recogen aprendizajes de las calculadoras ciudadanas estudiadas, particularmente en la estructura por pasos, la comunicación mediante equivalencias y la incorporación de recomendaciones de mitigación. No obstante, se mantiene como foco central la estimación de la huella del viaje específico, y no la huella anual del estilo de vida, lo que constituye la principal adaptación del conocimiento revisado.

## **4. Marco teórico**

El presente capítulo desarrolla la base conceptual que sustenta la propuesta de esta investigación. Su propósito no es únicamente reunir definiciones, sino construir una secuencia analítica que permita comprender por qué, en un territorio de alto valor ecológico, el turismo debe abordarse desde una perspectiva de sustentabilidad y gestión ambiental. En este marco, el capítulo articula cinco elementos centrales: el turismo sustentable en áreas protegidas, la necesidad de gestionar sus impactos, la huella de carbono como indicador de impacto climático, la capacidad de carga turística como enfoque complementario y, finalmente, la calculadora web como instrumento de apoyo a la gestión ambiental del territorio.

### **4.1 Turismo sustentable en áreas protegidas y Reservas de Biósfera**

De acuerdo con Leal Londoño (2017), el turismo sustentable se basa en la idea de satisfacer las necesidades de los visitantes y de las comunidades anfitrionas sin comprometer las oportunidades futuras, integrando de manera equilibrada las dimensiones ambiental, sociocultural y económica. Esta definición resulta especialmente relevante en áreas protegidas, donde la actividad turística no puede entenderse únicamente como una fuente de desarrollo económico, sino también como una práctica que debe adecuarse a las condiciones ecológicas del territorio.

En este sentido, las Reservas de Biósfera poseen una particular importancia, ya que la UNESCO las define como “lugares de aprendizaje para el desarrollo sostenible”, en los cuales se articulan objetivos de conservación de la biodiversidad, desarrollo económico y apoyo logístico a la investigación, la educación y la formación (UNESCO, 2026). Su organización en zonas núcleo, de amortiguación y de transición refleja precisamente la necesidad de compatibilizar distintos niveles de protección y uso del territorio. Bajo esta perspectiva, el turismo en una Reserva de Biósfera no puede promoverse de manera desvinculada de la conservación. Por el contrario,

debe desarrollarse mediante criterios de planificación y manejo que permitan compatibilizar el uso recreativo del espacio con la protección de sus valores naturales y culturales.

#### **4.2 Gestión de impactos ambientales del turismo**

En territorios donde el turismo de naturaleza constituye una actividad relevante, la sustentabilidad no depende solo de promover buenas prácticas, sino también de contar con mecanismos concretos para identificar, medir y gestionar los impactos asociados a la presencia de visitantes. Estos impactos pueden manifestarse en múltiples dimensiones, incluyendo presión sobre ecosistemas sensibles, generación de residuos, uso intensivo de agua y energía, alteración de paisajes y aumento de emisiones de GEI (Muñoz Rebolledo, 2024).

Por ello, la gestión del turismo en áreas protegidas requiere herramientas que permitan transformar el principio general de sustentabilidad en criterios operativos de evaluación y seguimiento. En este contexto, la planificación del uso público, la regulación de flujos de visitantes, el monitoreo ambiental y la evaluación de capacidad de carga constituyen componentes fundamentales de la gobernanza del territorio. Sin embargo, dentro de ese conjunto de impactos, el componente climático ha adquirido una relevancia creciente, particularmente por la contribución del transporte, el alojamiento, la alimentación y otras actividades turísticas a las emisiones de GEI.

#### **4.3 Huella de carbono como indicador de impacto climático**

La huella de carbono se ha consolidado como un indicador que permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas directa o indirectamente a una actividad, producto, organización o evento, expresadas en dióxido de carbono equivalente. En el ámbito del turismo, este indicador permite estimar el impacto climático derivado de decisiones tales como el medio de transporte utilizado, la distancia recorrida, el tipo de alojamiento, la alimentación consumida o las actividades realizadas durante la visita.

Para operacionalizar este concepto, el Greenhouse Gas Protocol formalizó tres categorías de emisiones, conocidas como alcances. El alcance 1 corresponde a emisiones directas desde fuentes propias o controladas; el alcance 2, a emisiones indirectas derivadas del consumo de energía adquirida; y el alcance 3, a otras emisiones indirectas generadas a lo largo de la cadena

de valor (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2004). Esta clasificación permite distinguir de manera esquemática entre emisiones directas e indirectas, facilitando su comprensión y su posterior adaptación al contexto turístico. Aunque esta clasificación fue diseñada originalmente para organizaciones, su lógica puede adaptarse al turismo para ordenar las distintas fuentes de emisión que convergen en una visita.

En un destino turístico, esta estructura permite distinguir entre emisiones derivadas de operaciones locales y aquellas asociadas al desplazamiento de visitantes, consumo de bienes y servicios y manejo de residuos. En el caso de visitantes individuales, una proporción importante de la huella del viaje suele concentrarse en estas emisiones indirectas, especialmente en el transporte de llegada y salida del destino.

Metodológicamente, la cuantificación de la huella de carbono se basa en la relación entre dato de actividad y factor de emisión. Esto implica identificar variables observables, como kilómetros recorridos, noches de alojamiento o consumo energético, y multiplicarlas por factores que expresan la cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) emitida por unidad de actividad (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2025). Su principal fortaleza es que convierte conductas y decisiones de viaje en un indicador sintético que permite dimensionar el impacto climático asociado.

#### **4.4 Capacidad de carga turística como enfoque complementario**

La capacidad de carga turística constituye un enfoque complementario porque permite abordar una pregunta distinta, pero estrechamente relacionada: no solo cuánto impacta climáticamente una visita, sino también cuántas personas puede soportar un sitio sin deteriorar significativamente sus condiciones ecológicas y la calidad de la experiencia del visitante. De manera general, este concepto se refiere al número máximo de personas que pueden usar un espacio sin generar alteraciones severas o irreversibles en sus condiciones naturales o sociales (Mathieson & Wall, 1982). En áreas protegidas, esta noción adquiere especial importancia, ya que permite reconocer que el territorio posee límites físicos, ecológicos y de gestión que deben ser considerados en la planificación turística.

Cifuentes (1992) desarrolló una metodología para áreas protegidas que distingue entre capacidad de carga física, real y efectiva. La primera se relaciona con el espacio disponible; la

segunda incorpora factores de corrección ambientales; y la tercera considera la capacidad de gestión e infraestructura existente. Esta diferenciación permite comprender que el uso turístico aceptable de un territorio no depende solo de su superficie, sino también de su fragilidad ecológica y de la capacidad institucional para manejar la visita.

Desde el punto de vista teórico, la capacidad de carga y la huella de carbono no son conceptos equivalentes, pero sí complementarios. Mientras la huella de carbono mide la intensidad del impacto climático de las actividades turísticas, la capacidad de carga permite evaluar los límites de uso del territorio. En conjunto, ambos enfoques enriquecen la comprensión de la sustentabilidad turística, ya que permiten analizar simultáneamente la magnitud de los impactos y la presión que ejerce la cantidad de visitantes sobre el área protegida.

#### **4.5 Calculadoras de huella como instrumentos de gestión ambiental**

Desde la perspectiva de la Ingeniería Civil Industrial y de la gestión de operaciones, los sistemas de información para la gestión ambiental se conciben como plataformas que permiten transformar datos dispersos en información útil para la toma de decisiones. En el ámbito climático, ello incluye sistemas de monitoreo de emisiones, inventarios corporativos, plataformas de reporte y herramientas de simulación de escenarios (Dirección General de Obras Públicas, 2025). Dentro de este conjunto, las herramientas de cálculo de huella de carbono orientadas a usuarios finales ya sean personas, organizaciones o visitantes de un territorio, pueden considerarse un tipo específico de sistema de información de soporte a decisiones. Su valor no radica únicamente en entregar un resultado numérico, sino también en traducir conceptos técnicos complejos, en interacciones simples y comprensibles para el usuario.

## 5. Metodología

El presente capítulo expone la metodología que sustenta el desarrollo de la investigación aplicada, detallando el enfoque metodológico adoptado, los alcances del proyecto, las fases de ejecución y los procedimientos utilizados para el diseño, construcción y validación de la calculadora de huella de carbono. Del mismo modo, se describen los criterios técnicos, operacionales y analíticos considerados en la formulación del modelo de cálculo, junto con los recursos humanos, tecnológicos e informacionales empleados, con el fin de garantizar la coherencia, rigurosidad y replicabilidad del proceso metodológico desarrollado.

### 5.1 Enfoque metodológico del proyecto y objetivo del capítulo

El proyecto se enmarca en un enfoque de investigación aplicada y de diseño e implementación de sistemas de información orientado a la creación de un prototipo funcional de calculadora de huella de carbono para visitantes de la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja”.

Metodológicamente, se utiliza la lógica de la investigación orientada al diseño<sup>13</sup>, en la que el resultado central es un artefacto tecnológico, que es la calculadora web, para así responder a un problema práctico claramente definido: la necesidad de cuantificar y comunicar la huella de carbono asociada a visitas turísticas a la reserva de biósfera, de manera simple, comprensible y accionable para el usuario final. Este enfoque combina:

- (i) Revisión documental y normativa (factores de emisión, marcos metodológicos de huella de carbono, iniciativas públicas como HuellaChile, guías internacionales de medición de emisiones en turismo).
- (ii) Diseño centrado en el usuario para la interfaz (principios de usabilidad y diseño responsivo, siguiendo heurísticas de usabilidad ampliamente difundidas).
- (iii) Desarrollo e implementación de software (Next.js, React y TypeScript) para materializar el motor de cálculo y la interfaz.
- (iv) Validación con usuarios reales (visitantes y operadores turísticos) mediante encuestas, pruebas piloto de usabilidad y focus groups.

---

<sup>13</sup> Se utiliza el término *investigación orientada al diseño* para aludir a enfoques de investigación centrados en diseñar y evaluar artefactos (como modelos o sistemas) para resolver problemas prácticos.

El objetivo de este capítulo es describir de forma rigurosa y replicable el proceso metodológico seguido para: diseñar la arquitectura de información y la experiencia de usuario de la calculadora, construir el modelo de cálculo y operacionalizar los factores de emisión y supuestos, implementar la arquitectura técnica y los componentes de visualización y reporte, y definir y ejecutar la estrategia de validación con usuarios y monitoreo de uso.

De esta forma, cualquier profesional con conocimientos básicos en desarrollo web y gestión de huella de carbono podría replicar o adaptar la herramienta a otro destino turístico.

## **5.2 Alcance del proyecto**

### **5.2.1 Alcance funcional de la herramienta**

La calculadora está diseñada para estimar la huella de carbono de una visita individual o de un grupo reducido de personas (familia, amigos) a los atractivos priorizados de la Reserva de Biósfera “Corredor biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja.”

La herramienta cubre las siguientes categorías de emisión: transporte de acceso y retorno al destino; transporte local dentro de la reserva de biósfera; alojamiento; alimentación; actividades turísticas relevantes con componente de transporte o uso energético, finalmente, agua y residuos. Quedando explícitamente fuera del alcance de esta versión, por ejemplo: el cálculo detallado de huellas de organizaciones, la elaboración de un inventario anual de emisiones de toda la reserva de biósfera o el análisis de ciclo de vida completo de productos específicos, entre otros.

### **5.2.2 Alcance geográfico**

El modelo está específicamente diseñado para Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”, incorporando comunas de origen típicas de los visitantes (Concepción, Chillán, Santiago, entre otras) y puntos de llegada y atractivos clave del corredor (centros de ski, termas, lagunas, parques, miradores, entre otros).

La metodología es transferible, pero la parametrización actual, esto es, matrices de distancia, tipos de transporte local, factores de ocupación, entre otros. Está específicamente ajustada a la realidad actual de la Reserva.

### **5.2.3 Alcance temporal**

El proyecto considera el diseño, desarrollo y prueba piloto de la herramienta durante el período de ejecución de la memoria de título. El objetivo por conseguir es contar con una primera versión

de la calculadora, estable y funcional, con capacidad para ser posteriormente actualizada en factores de emisión, atractivos turísticos, modos de transporte y funcionalidades, según la disponibilidad de nuevos datos y las necesidades de la gestión del destino.

#### 5.2.4 Alcance en términos de usuarios y uso previsto

La herramienta está pensada para visitantes actuales o potenciales de la reserva de biósfera (uso previo o posterior al viaje), u operadores y gestores turísticos interesados en utilizar los resultados como herramienta de sensibilización.

En esta versión, no se considera, la integración directa con sistemas de reservas o venta de servicios, ni módulos de pago o autenticación de usuarios.

### 5.3 Cronograma y fases de trabajo

El desarrollo de la calculadora se estructura en cuatro fases principales, que ordenan el cronograma del proyecto, tal como se ilustra en la Figura 4:

1. Diseño de la arquitectura de información y experiencia de usuario (UX).
2. Implementación del motor de cálculo.
3. Desarrollo de componentes de gestión y reporte (*dashboard* y PDF).
4. Estrategia de validación con usuarios y monitoreo.

El cronograma completo, con etapas y actividades, se presenta en Anexo F.

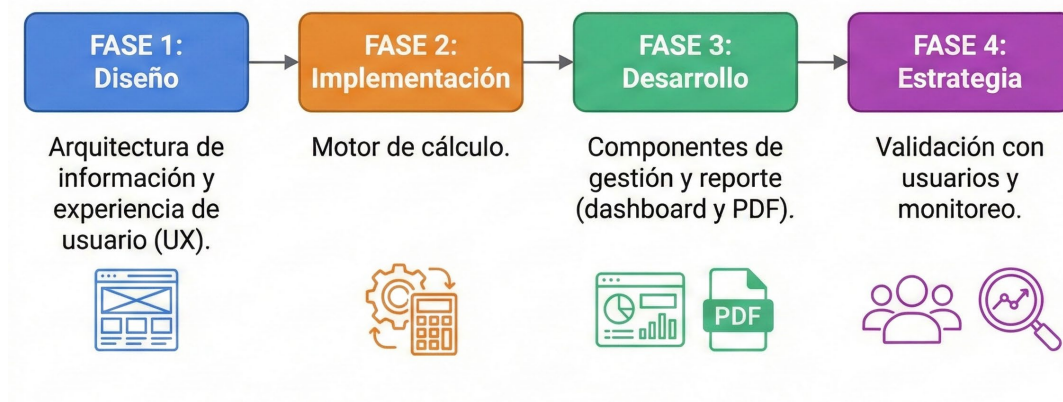


Figura 4. Flujo de desarrollo estructurado en cuatro etapas principales  
Fuente: Elaboración Propia

## 5.4 Matriz metodológica por objetivo específico

La Tabla 3 resume la relación entre objetivos específicos, entradas, actividades y resultados o entregables, funcionando como mapa de ruta metodológico del proyecto.

Tabla 3. Resumen metodológico del proyecto.

| Objetivo específico                                                                                      | Entradas principales                                                                                                                          | Actividades / Metodología                                                                                                                                                               | Resultados / Entregables                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OE1. Diseñar la arquitectura de información y UX de la calculadora de huella de carbono para la Reserva. | Revisión documental sobre huella de carbono en turismo, documentos de planificación de la Reserva, entrevistas informales con gestores.       | - Análisis de requerimientos funcionales. - Definición de variables y pasos del wizard. - Desarrollo de wireframes y prototipos de baja fidelidad. - Revisión heurística de usabilidad. | -Especificación funcional de la calculadora. - Prototipos de interfaz validados internamente.                                          |
| OE2. Construir el modelo de cálculo de huella de carbono adaptado a la realidad de la Reserva.           | Factores de emisión de fuentes oficiales/nacionales, distancias origen–destino, información sobre modos de transporte y alojamientos típicos. | - Selección y normalización de factores de emisión. - Construcción de matrices de distancia. - Definición de supuestos y parámetros. - Programación del motor de cálculo en TypeScript. | -Motor de cálculo operativo. - Documentación de supuestos y parámetros.                                                                |
| OE3. Desarrollar componentes de visualización y reporte de resultados orientados al visitante.           | Prototipos de UX, resultados del motor de cálculo, lineamientos de comunicación ambiental.                                                    | -Diseño del dashboard de resultados. - Implementación de equivalencias explicativas. - Programación de exportación a PDF y mensajes de recomendación.                                   | -Interfaz de resultados integrada a la calculadora. - Plantilla de reporte PDF descargable.                                            |
| OE4. Validar la usabilidad y aceptabilidad de la herramienta con usuarios de la Reserva.                 | Versión funcional de la calculadora, guion de prueba, cuestionarios de evaluación.                                                            | -Diseño y aplicación de encuestas post-uso. - Pruebas piloto de usabilidad con visitantes. - Análisis descriptivo e interpretación de resultados.                                       | -Base de datos de respuestas. - Indicadores de usabilidad y aceptación. - Ajustes finales al diseño y recomendaciones para la gestión. |

Fuente: Elaboración Propia

## 5.5 Diseño del cuestionario

El cuestionario es diseñado como el principal instrumento de validación cuantitativa y se aplica a usuarios que completaron el cálculo de su huella de carbono. Se estructura en tres bloques:

- (i) Datos sociodemográficos y de contexto.
- (ii) Uso de la calculadora y patrones de viaje.
- (iii) Percepción sobre usabilidad, claridad e intención de cambio de conducta.

El instrumento fue revisado cuidadosamente de forma personal y con el docente guía, posteriormente se realizó una prueba piloto con un grupo reducido de personas para verificar tiempos de respuesta, comprensión y funcionamiento del formulario.

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y, cuando fue pertinente, se exploraron asociaciones simples entre variables (por ejemplo, familiaridad ambiental versus valoración de la herramienta).

## **5.6 Construcción del modelo de cálculo y supuestos**

La metodología de construcción del modelo de cálculo está basada en los siguientes pasos:

### **1. Identificación de fuentes de emisión por categoría**

- Transporte: viajes de ida y regreso al destino, desplazamientos locales.
- Alojamiento: consumo de energía asociado a pernoctaciones.
- Alimentación: emisiones derivadas del consumo de distintos tipos de alimentos, con énfasis en carnes rojas, blancas y opciones vegetales.
- Actividades: uso de medios motorizados específicos cuando corresponde.
- Agua y residuos: aproximaciones basadas en uso típico por pernoctación o por visita.

### **2. Selección y normalización de factores de emisión**

- Preferencia por factores de emisión nacionales o utilizados en programas públicos de reporte de huella de carbono para el contexto chileno, complementados con factores de organismos internacionales cuando fue necesario.
- Conversión de todos los factores a una unidad de referencia común ( $\text{kgCO}_2\text{e}$  por unidad de actividad) y documentación de las fuentes y año de referencia de los factores.

### **3. Definición de supuestos operacionales**

- Ocupación promedio de vehículos (por ejemplo, 2–3 personas por automóvil particular), diferenciando cuando el usuario indica que viaja solo.
- Intensidad energética promedio de alojamientos y su relación con la cantidad de noches.
- Frecuencia de consumo de distintos grupos de alimentos durante la visita, aproximada a partir de categorías cualitativas (alto/medio/bajo) que se traducen en factores multiplicativos del patrón de referencia.
- Duración típica de actividades motorizadas y su intensidad de emisiones.

#### **4. Estructuración del cálculo en módulos independientes**

- Módulo de transporte: cálculo de emisiones como producto entre distancia (km), factor de emisión (kgCO<sub>2</sub>e/km) y ajuste por número de personas.
- Módulo de alojamiento: emisiones por noche y tipo de alojamiento, multiplicadas por el número de noches.
- Módulo de alimentación: emisiones aproximadas por día y perfil de consumo, multiplicadas por la duración de la estadía.
- Módulo de actividades y otros.

#### **5. Parametrización y posibilidad de actualización**

- Los factores y supuestos se almacenaron en módulos configurables (estructuras de configuración), separados de la lógica de cálculo, de modo que nuevas versiones del modelo (nuevos factores oficiales, nuevas tipologías o actividades) puedan incorporarse sin reescribir el código principal.

Este enfoque modular permite que el modelo pueda ser auditado y ajustado en el futuro, ya sea en corto o mediano plazo, por ejemplo, si la administración de la Reserva dispone de datos recopilados en un tiempo determinado, como por ejemplo de consumo energético en alojamientos o de distancias más precisas para ciertas rutas.

### **5.7 Métodos de validación**

#### **5.7.1 Encuestas a visitantes**

Tras la utilización de la calculadora, se instó a los visitantes a responder el cuestionario descrito en la sección 5.5. La encuesta se implementó en línea y se realizó difusión por múltiples redes sociales para interesados que ya han visitado la reserva de biósfera o lo planean a futuro. La población objetivo fue usuarios que completaron el cálculo de su huella durante el período piloto.

La base de datos resultante permitió calcular indicadores de usabilidad percibida, claridad de resultados y utilidad, así como analizar la distribución de respuestas por edad y familiaridad con temas ambientales. Además, los resultados sirvieron para identificar ajustes en la redacción de preguntas, en el orden de los pasos y en el énfasis de las recomendaciones.

### **5.7.2 Pruebas piloto de usabilidad**

Las pruebas piloto se desarrollaron según principios de diseño centrado en el usuario. Se definieron tareas concretas, como calcular la huella de un viaje de fin de semana desde una comuna específica con determinado número de noches de alojamiento, y se observaron tiempos de completitud, número de retrocesos, dudas espontáneas y errores.

Al finalizar cada prueba, se aplicó una breve entrevista para registrar la percepción sobre facilidad de uso, claridad de la información y satisfacción general. Esta herramienta permitió identificar la necesidad de ajustar textos técnicos, mejorar la visibilidad de escrituras, tipografía y simplificar ciertas decisiones.

## **5.8 Recursos utilizados**

### **5.8.1 Recursos humanos**

La implementación del proyecto requirió la participación de: (i) El autor de la memoria de tesis, responsable del diseño conceptual, implementación, levantamiento y análisis de datos; (ii) El profesor guía, a cargo de la supervisión metodológica y técnica, revisión de avances y apoyo en la selección de fuentes y definición de la estrategia de validación; y (iii) Colaboradores vinculados a la reserva de biósfera o al proyecto asociado, que aportaron información contextual, revisaron el correcto funcionamiento de la calculadora y apoyaron con la difusión de la herramienta para su testeo.

### **5.8.2 Recursos tecnológicos y de software**

Desde el punto de vista tecnológico, para el desarrollo de la herramienta se utilizó un notebook personal como equipo de trabajo principal. Para la programación se empleó el entorno de desarrollo Visual Studio Code, que permitió escribir, organizar y depurar el código del sistema. Además, se utilizó Git junto con un repositorio remoto para el control de versiones, lo que facilitó el seguimiento de cambios en el código y la gestión del desarrollo del proyecto.

En cuanto a las tecnologías de desarrollo web, se utilizaron frameworks como Next.js y React, los cuales permitieron estructurar la aplicación web y gestionar la interfaz de usuario de forma eficiente mediante componentes reutilizables. Asimismo, se utilizó TypeScript como lenguaje de programación, el cual añade tipado estático a JavaScript, mejorando la seguridad y mantenibilidad del código.

Para el diseño visual de la interfaz se empleó Tailwind CSS, un framework de estilos que permite construir interfaces modernas mediante clases predefinidas. Adicionalmente, se utilizaron diversas bibliotecas que aportan funcionalidades específicas al sistema, tales como Recharts, utilizada para la generación de gráficos interactivos; Framer Motion, empleada para implementar animaciones en la interfaz de usuario; jsPDF, utilizada para generar documentos PDF desde la aplicación; y jspdf-autotable, que permite crear tablas estructuradas dentro de dichos archivos PDF.

Para el despliegue de la aplicación se utilizó el servicio en la nube Vercel, que permite alojar aplicaciones web y publicarlas en internet de forma rápida y eficiente. Finalmente, se incorporó Google Analytics como herramienta de analítica web, con el objetivo de monitorear el uso de la plataforma y obtener información sobre el comportamiento de los usuarios.

### **5.8.3 Recursos de información**

Los recursos de información utilizados comprendieron documentos de planificación y gestión de la reserva de biósfera, guías y manuales para el cálculo de huella de carbono aplicables tanto al contexto chileno como al sector turístico, literatura científica y técnica sobre huella de carbono asociada a viajes y turismo, así como sitios web de calculadoras de emisiones. Asimismo, se consideró el conocimiento aportado por el profesor guía respecto de la oferta turística, los patrones de movilidad y otras condiciones territoriales relevantes para el desarrollo del proyecto.

## 6. Diseño detallado del sistema de cálculo y plataforma web

El presente capítulo expone el diseño detallado del sistema de cálculo y de la plataforma web desarrollada en el marco de este proyecto, orientada a la estimación de la huella de carbono asociada a visitas turísticas en la Reserva de Biósfera. En particular, se aborda la configuración general de la herramienta, la justificación de las tecnologías empleadas, el modelado de datos y la arquitectura de software, junto con los principales supuestos, factores de emisión y fórmulas de cálculo que sustentan su funcionamiento. Asimismo, se describen los criterios de diseño de la interfaz, la visualización de resultados, y las consideraciones relativas a seguridad, privacidad, escalabilidad, costos y mantención, con el propósito de entregar una visión integral del soporte técnico y metodológico que da sustento a la solución propuesta.

### 6.1 Descripción general de la plataforma web

#### 6.1.1 Rol de la plataforma en el proyecto

La herramienta desarrollada corresponde a una plataforma web interactiva para el cálculo de la huella de carbono de visitas turísticas a la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”. Se trata de una aplicación de una sola página (*single-page application*), que permite actualizar dinámicamente los contenidos sin recargar la página y ofrecer una experiencia fluida al usuario. El sitio se estructura en dos niveles principales:

- (i) Una página de entrada (*landing page*) que presenta la propuesta de valor de la herramienta, con una imagen de fondo de la Reserva (Complejo Volcánico Nevados de Chillán), logotipo oficial y un llamado a la acción (“Mide tu huella. Actúa. Disfruta la ruta”), describiendo el objetivo del sistema y conteniendo el botón que conduce al flujo de cálculo, tal como se observa en la Figura 5.
- (ii) El módulo de cálculo, implementado como un formulario paso a paso tipo asistente (*wizard*)<sup>14</sup> de siete pasos consecutivos (identificación, transporte, alojamiento, alimentación, actividades, residuos y agua, y resultado).

La plataforma es diseñada con un diseño web responsivo (*responsive*)<sup>15</sup>, de modo que la interfaz se adapta automáticamente a distintos tamaños de pantalla de computadores, tablets y teléfonos

---

<sup>14</sup> En diseño de interfaces, un *wizard* es un flujo guiado que divide una tarea compleja en varios pasos consecutivos, acompañando al usuario en cada etapa del proceso.

<sup>15</sup> En diseño web, *responsive* alude a interfaces que se adaptan automáticamente al tamaño de pantalla y al dispositivo (móvil, tablet o notebook), reorganizando los contenidos para mantener su legibilidad y usabilidad.

móviles, independiente del sistema operativo utilizado, considerando el acceso mediante códigos QR instalados en el territorio y manteniendo la legibilidad y la usabilidad en todos los dispositivos. El diseño se construye siguiendo principios de simplicidad visual, jerarquía clara de la información, dinamismo y uso consistente de colores para los gráficos utilizados y similar paleta de colores en todo su contenido.



*Figura 5. Captura de pantalla de vista a página de entrada del sitio web visualizado en iPhone.  
Fuente: Elaboración Propia*

### **6.1.2 Justificación tecnológica: elección de Next.js y Vercel**

La selección de la pila tecnológica sobre la cual se implementa la calculadora de huella de carbono no es neutra: condiciona el desempeño, la escalabilidad y la facilidad de mantención y uso de la herramienta. A partir de las afirmaciones anteriores, se opta por implementar la plataforma utilizando Next.js<sup>16</sup> como framework<sup>17</sup> de desarrollo web en JavaScript/TypeScript y Vercel<sup>18</sup> como servicio de despliegue y hosting administrado.

---

<sup>16</sup> Fuente: <https://nextjs.org>

<sup>17</sup> Se entiende por *framework* un conjunto de herramientas, librerías y reglas de organización que sirven como estructura base para desarrollar aplicaciones de forma más rápida y ordenada.

<sup>18</sup> Fuente: <https://vercel.com/>

Next.js es un framework de código abierto construido sobre React que facilita el desarrollo de aplicaciones web modernas mediante enrutamiento<sup>19</sup> basado en archivos, soporte nativo para renderizado<sup>20</sup> del lado del servidor (SSR) y generación estática de sitios (SSG), así como optimización automática de recursos estáticos (imágenes, fuentes, CSS). Además, proporciona un panel de control analítico que puede configurarse para mostrar datos precisos de los visitantes y perspectivas de la página desde el primer momento. Estas características permiten reducir tiempos de carga y mejorar la experiencia de usuario, lo cual es clave en una herramienta que se concibe para ser utilizada en contextos turísticos donde la conectividad puede ser bastante limitada.

Por su parte, Vercel proporciona un entorno de despliegue optimizado para aplicaciones desarrolladas con Next.js, ofreciendo integración continua, despliegues automáticos a partir del repositorio de código, distribución de contenido mediante redes de entrega de contenido (CDN) y certificación SSL gestionada. Este enfoque de “plataforma como servicio” reduce la carga operativa para personal de la reserva de biósfera o quien sea el encargado de su administración, al no requerir la gestión directa de servidores, balanceadores de carga ni configuraciones de seguridad de bajo nivel.

## **6.2 Modelado de datos y estructura interna**

### **6.2.1 Capas funcionales y modelo de datos**

El diseño del sistema hace necesario definir un modelo de datos coherente y trazable que representa la información provista por el usuario a lo largo de los siete pasos y facilita el cálculo de emisiones. El modelo se organiza en torno a dos bloques:

- (i) **Estado del viaje (datos de entrada):** contiene la información introducida por el usuario sobre identificación, transporte, alojamiento, alimentación, actividades, residuos y agua.
- (ii) **Parámetros de cálculo (datos de configuración):** agrupan matrices de distancia, factores de emisión por combustible, tipos de transporte y actividades, factores por noche de alojamiento y patrones alimentarios, y factores de residuos y agua.

---

<sup>19</sup> Se entiende por enrutamiento el mecanismo que define qué vista o página de la aplicación se muestra según la ruta o URL que el usuario visita dentro del sitio web.

<sup>20</sup> Se entiende por renderizado el proceso mediante el cual el navegador transforma el código y los datos de la aplicación en la interfaz visual que ve el usuario en pantalla.

El registro de viaje se concibe como una estructura única que contiene las distintas secciones de entrada. Cada vez que el visitante modifica un campo, el estado se actualiza y el motor recalcula los resultados en memoria, sin necesidad de enviarlos a un servidor. Esto es de gran utilidad, ya que reduce la latencia, mejora la experiencia y protege los datos personales.

### **6.2.2 Arquitectura general del sistema**

El sistema sigue una arquitectura cliente/servidor simplificada, en la que la mayor parte de la lógica se ejecuta del lado del cliente:

Primero, la capa de presentación (*front-end*), que es lo que el usuario ve y usa, formada por componentes visuales y estilos que presentan preguntas y resultados de forma comprensible y responsiva; Segundo, la capa de lógica de negocio, compuesta por funciones puras que transforman datos de entrada en resultados de emisiones por categoría y totales en kgCO<sub>2</sub>e. Por último, la capa de servicios y utilidades, donde se ubican el seguimiento de eventos con analítica, la generación de PDF y, potencialmente, la conexión con servicios externos.

La interfaz se organiza como aplicación de una sola página (*Single Page Application*) con navegación por pasos; cada módulo de captura se implementa como componente funcional que comparte un estado global de la visita, lo que facilita el mantenimiento y la extensión futura del sistema.

## **6.3 Arquitectura de software y tecnologías seleccionadas**

### **6.3.1 Framework de desarrollo: React y Next.js**

La capa de presentación *front-end* se implementa en React, que es una biblioteca de JavaScript<sup>21</sup> ampliamente utilizada para construir interfaces de usuario interactivas sobre el cual se monta Next.js. Este último permite generar páginas estáticas y servir las desde una red de distribución de contenido (CDN), consiguiendo tiempos de respuesta bajos incluso con altos volúmenes de tráfico, una característica relevante en periodos de alta demanda turística (por ejemplo, temporada de nieve), mejorando el posicionamiento en motores de búsqueda y una integración directa con despliegues en la nube. Adicionalmente, sus capacidades de SEO (Search Engine Optimization) facilitan que la herramienta sea encontrada por visitantes que planifican su viaje, maximizando su adopción con mínimos esfuerzos adicionales de marketing digital.

---

<sup>21</sup> JavaScript es un lenguaje de programación ampliamente utilizado para el desarrollo de aplicaciones web, que permite incorporar interacción, lógica de negocio y dinámica en las páginas que se ejecutan en el navegador.

### 6.3.2 Despliegue serverless en Vercel: costos fijos, demanda estacional y eficiencia operativa

El despliegue de la calculadora se realiza en Vercel, plataforma de hosting orientada a aplicaciones *front-end* y *serverless*<sup>22</sup>, con un modelo de precios que combina un plan gratuito llamado “hobby” para proyectos de baja a mediana escala, que es el utilizado para el desarrollo de la herramienta digital, con planes pagados, “pro” y de mayor escala “enterprise”, basados en recursos consumidos, tales como: solicitudes, funciones ejecutadas, ancho de banda, almacenamiento, entre otros. Desde la perspectiva de ingeniería, esta decisión tiene implicancias directas en la estructura de costos:

En modelos tradicionales de hosting con servidores dedicados o VPS, el costo de infraestructura suele ser mayormente fijo, independientemente del volumen de tráfico. Esto implica que, en periodos de baja demanda turística (fuera de temporada alta), como ocurre gran parte del año, el sistema incurriría en costos bastante significativos. En cambio, el modelo *serverless* de Vercel permite que gran parte de los costos se comporten como costos variables, estrechamente ligados al número de visitas y a la cantidad de funciones ejecutadas. En temporadas de baja afluencia, el gasto operativo tiende a ser muy reducido, mientras que en temporada alta la infraestructura escala automáticamente para soportar un incremento de tráfico sin necesidad de invertir previamente en capacidad ociosa.

En este sentido, la elección de Vercel se justifica como una forma de alinear la oferta tecnológica con la estacionalidad de la demanda turística descrita para la Reserva (invierno concentrado en deportes de nieve, verano en actividades de trekking y río), minimizando costos fijos y transformando la infraestructura en un costo variable asociado a la intensidad de uso de la herramienta.

### 6.3.3 Visualización y reportabilidad: Recharts y jsPDF

La calculadora incorpora componentes de visualización desarrollados con *Recharts*, una biblioteca de gráficos para *React* que permite construir visualizaciones interactivas (por ejemplo, gráficos de torta y barras) a partir de estructuras de datos declarativas. Tal como se observa en la Figura 8, estos componentes forman parte de la capa de visualización y

---

<sup>22</sup> Se utiliza el término *serverless* para referirse a modelos de computación en la nube donde el proveedor gestiona de forma automática la infraestructura de servidores, permitiendo ejecutar funciones o aplicaciones sin que el desarrollador administre directamente los servidores.

reportabilidad del sistema, encargada de traducir los resultados del motor de cálculo en información comprensible para el usuario. La elección de *Recharts* no responde solo a concretar diseños estéticos; desde la lógica de toma de decisiones, los gráficos se utilizan para mostrar cómo se distribuye la huella de carbono total del viaje entre categorías (transporte, alojamiento, actividades, etc.), permitiendo al usuario identificar fácilmente dónde se concentra su impacto y dónde es más efectivo focalizar cambios de comportamiento.

Complementariamente, se utiliza jsPDF para la generación de reportes en formato PDF descargables por el usuario. Este reporte actúa como un “comprobante de tu huella” que, además de entregar un resumen numérico, incorpora recomendaciones de mitigación personalizadas.

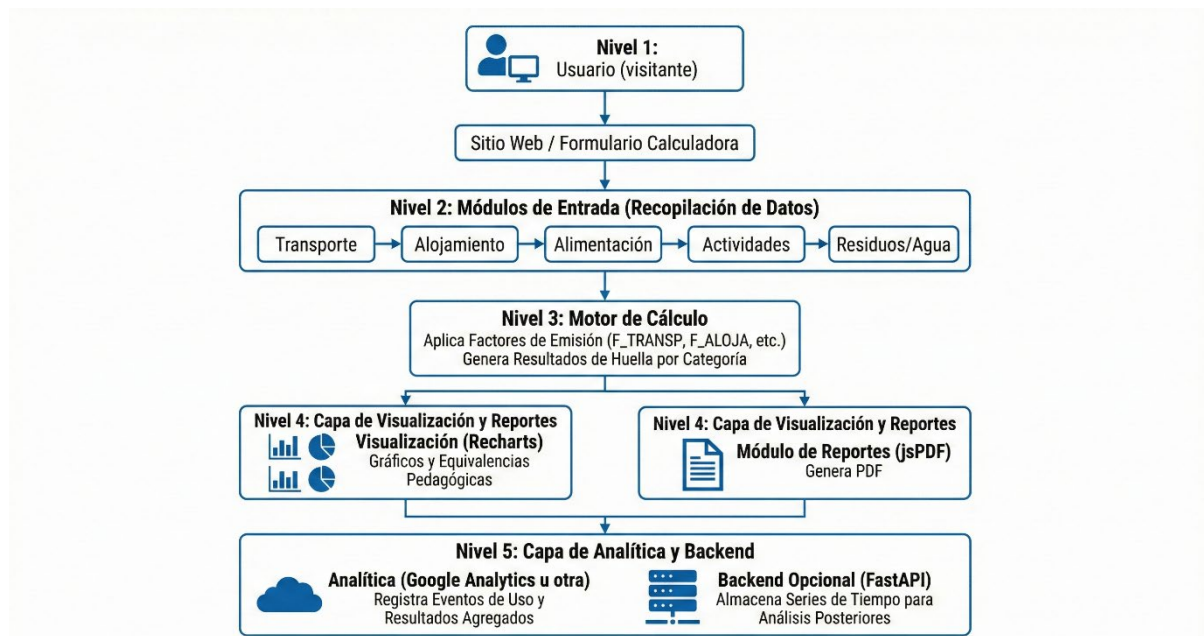


Figura 3. Diagrama conceptual de la arquitectura del sistema  
Fuente: Elaboración Propia

## 6.4 Módulo de identificación y parametrización del viaje

El primer módulo del sitio web parametriza el contexto general del viaje, base para los cálculos posteriores. La interfaz solicita, entre otros elementos, la ciudad o punto de origen del viaje, el destino principal dentro del corredor, la duración de la visita y el número de personas.

Antecediendo al inicio de la herramienta, se ofrece un mensaje introductorio a modo de orientar y brindar explicación, en lenguaje sencillo, sobre que se preguntará, cómo se debe proceder, qué se hará con los datos y por qué es importante ser relativamente preciso en su entrega.

## 6.5 Supuestos y factores de emisión utilizados por módulo

A continuación, se describen los principales supuestos y factores de emisión incorporados en el modelo implementado en la calculadora, ordenados de acuerdo con su avance en la plataforma digital, con el fin de transparentar su origen, orden de magnitud y simplificaciones adoptadas.

El detalle completo de factores de emisión, fuentes y supuestos específicos por módulo (acceso, transporte local, alojamiento, alimentación, actividades y residuos/agua) se presenta en el Anexo G.

### 6.5.1 Criterios generales para la construcción de factores

Para la construcción de los factores de emisión se guió a partir de factores de referencia internacionales (especialmente IPCC), herramientas y guías nacionales (HuellaChile, Agencia de Sostenibilidad Energética), literatura sobre huella de alimentación y reglas de dedo estudiadas cuando no existen factores específicos para ciertas actividades.

Privilegiando que los factores sean coherentes en orden de magnitud, conservadores (no subestimar emisiones) y simples de comprender para el usuario final. Se presenta la Tabla 4, con ejemplos simplificados de la relación entre categorías de emisión y alcances.

Tabla 4. Ejemplo simplificado de relación entre categorías de emisión y alcances.

| Categoría              | Dato de actividad típico       | Alcance principal | Ejemplo de factor de emisión (fuente)                                      |
|------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Transporte interurbano | km recorridos en bus o auto    | 1 o 3             | kgCO <sub>2</sub> e/km según tipo de combustible (HuellaChile/DEFRA)       |
| Alojamiento            | n.º de noches                  | 1 y 2             | kgCO <sub>2</sub> e/noche, desagregado por combustible y kWh (HuellaChile) |
| Electricidad           | kWh consumidos                 | 2                 | kgCO <sub>2</sub> e/kWh SEN (HuellaChile)                                  |
| Actividades            | horas o tickets de actividad   | 1 y 2             | kgCO <sub>2</sub> e/hora o por uso de equipamiento (literatura y ajustes)  |
| Residuos               | kg de residuos por persona/día | 3                 | kgCO <sub>2</sub> e/kg para mezcla de residuos (literatura/EPA)            |

Fuente: Elaboración Propia en base a HuellaChile, DEFRA y EPA.

### 6.5.2 Alcances y limitaciones del modelo de factores

Finalmente, es importante explicitar los principales alcances y limitaciones del modelo de factores de emisión utilizado. El modelo está diseñado para representar órdenes de magnitud y comparar alternativas de viaje, como puede ser el caso de viajar solo o acompañado, elegir bus en lugar de auto, reducir el uso de actividades motorizadas, etc. Por lo tanto, no lo está para

sustituir inventarios detallados bajo normativas de certificación ni herramientas de reporte corporativo.

Los factores se construyen combinando datos IPCC, HuellaChile, guías de eficiencia energética y estudios de alimentación. El objetivo es fundamental es priorizar la comprensibilidad para el usuario final, dejando explícito que detalles como la energía utilizada en la infraestructura o las rutas exactas de cada alimento escapan al alcance del proyecto.

En la mayoría de los escenarios, el transporte de larga distancia y el alojamiento concentran la mayor parte de la huella total, esto, va en línea con la evidencia para turismo en áreas protegidas, mientras que alimentación, actividades motorizadas y residuos/agua actúan como moduladores del comportamiento, reforzando así, la idea de que las pequeñas decisiones cotidianas también contribuyen.

## 6.6 Cálculo final de CO<sub>2</sub>e

### 6.6.1 Fórmulas y parametrización

La huella total de la visita se expresa como la suma de productos entre datos de actividad y factores de emisión, siendo expresada según la ecuación (1).

$$Huella\ total\ (kgCO_2e) = \sum_{c=1}^n \sum_{i=1}^m (A_{c,i} \times FE_{c,i}) \quad (1)$$

donde:

- $c$  representa cada categoría (transporte, alojamiento, alimentación, actividades, residuos/agua);
- $i$  representa los ítems o subcategorías dentro de cada categoría;
- $A_{c,i}$  es el dato de actividad (km, noches, horas, días, kg de residuo);
- $FE_{c,i}$  es el factor de emisión en kgCO<sub>2</sub>e por unidad de actividad.

Todos los factores de emisión se parametrizan de manera que puedan ser ajustados en función de nueva evidencia o de requerimientos institucionales, manteniendo la estructura del modelo estable. La parametrización se documenta en una tabla de factores y archivos de configuración, incluidas en el anexo correspondiente. De esta forma, se pueden incorporar fácilmente nuevos datos o ajustes metodológicos a esta útil herramienta.

### 6.6.2 Supuestos críticos y análisis de sensibilidad

El modelo descansa en supuestos sobre distancias de referencia origen–destino, tasas de ocupación promedio de alojamientos y vehículos (cuando no se especifica el número de huéspedes/pasajeros), consumos energéticos típicos por noche y patrones alimentarios simplificados, y generación de residuos per cápita en viajes cortos.

Con el fin de evaluar la robustez del modelo, se realiza un análisis exploratorio de sensibilidad<sup>23</sup>, variando los principales parámetros dentro de rangos razonables ( $\pm 20$  % en distancia recorrida, número de noches, intensidad de consumo de carne roja, entre otros). En todos los escenarios analizados se observa que el orden relativo de las categorías se mantiene: el transporte de larga distancia y el alojamiento representan la mayor proporción de la huella total, seguidos por la alimentación y, en menor medida, por actividades motorizadas y residuos/agua. Este resultado es consistente con la evidencia internacional sobre huella de carbono del turismo en destinos de naturaleza.

### 6.7 Interfaz de usuario, visualización de resultados y analítica

La capa de presentación de la plataforma digital es diseñada con el propósito de brindar al usuario una óptima experiencia, facilitando el ingreso de datos y comunicando los resultados de forma innovadora, comprensiva y motivadora, en línea con los principios de “*carbon literacy*”<sup>24</sup> que destacan la importancia de traducir la información climática a mensajes accionables para las personas.

La plataforma se construyó como una aplicación web moderna orientada a la experiencia del visitante y a la reportabilidad, con despliegue serverless para adaptarse a la estacionalidad turística. El stack principal incluye Next.js/React con TypeScript, Tailwind CSS para la interfaz del usuario, Recharts para visualización y jsPDF para generación de reportes; además se integra analítica de uso para evaluar adopción y comportamiento. El detalle de componentes, criterios de despliegue y librerías se presenta en el Anexo H.

---

<sup>23</sup> Se entiende por análisis exploratorio de sensibilidad la revisión sistemática de cómo varían los resultados del modelo cuando se modifican, dentro de rangos razonables, ciertos supuestos o parámetros clave.

<sup>24</sup> Se entiende por *carbon literacy* el conjunto de conocimientos y capacidades que permiten comprender el cambio climático, sus causas y efectos, y actuar de forma informada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

## 6.8. Seguridad y privacidad de datos

La implementación de la plataforma considera explícitamente aspectos de seguridad y protección de datos personales. El diseño del modelo de datos no contempla la solicitud de información identificable como nombre, correo electrónico o número de documento (RUT). Toda la lógica de cálculo se ejecuta localmente en el navegador del usuario, lo que contribuye a su confianza y a la seguridad de las comunicaciones.

De manera complementaria, se integró un sistema de analítica web, mencionado anteriormente, que registra, de forma agregada y anonimizada, indicadores de uso. Estos datos se emplean exclusivamente para fines de mejora continua de la herramienta y no permiten identificar individuos. La configuración de analítica respeta los principios de minimización de datos y transparencia, en coherencia con la Ley N.º 19.628 sobre protección de la vida privada y con buenas prácticas internacionales (Congreso Nacional de Chile, 1999).

Para la seguridad técnica, la plataforma se despliega sobre un servicio de *hosting*<sup>25</sup> en la nube que ofrece cifrado de comunicaciones mediante HTTPS y actualizaciones automáticas de certificaciones de seguridad. El código fuente se gestiona en un repositorio controlado por el desarrollador, lo que facilita la trazabilidad de cambios y la corrección de eventuales vulnerabilidades.

### 6.8.1 Posibilidades de escalamiento, replicabilidad y API pública

Si bien la calculadora fue diseñada inicialmente para la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”, la arquitectura adoptada abre posibilidades concretas de escalamiento funcional y geográfico. A nivel funcional, el modelo de datos y el motor de cálculo permiten incorporar nuevas categorías, como la compra de recuerdos o el uso de servicios turísticos adicionales, mediante la modificación de módulos específicos y de sus respectivos factores de emisión.

En términos geográficos, la herramienta podría adaptarse a otros destinos turísticos del país o de la Red Mundial de Reservas de la Biósfera, reemplazando matrices de distancia, factores de transporte locales y tipologías de alojamiento, pero manteniendo la lógica central de cálculo y el flujo de usuario. La separación entre capa de presentación y lógica de negocio facilita esta

---

<sup>25</sup> Se entiende por servicio de hosting, a la prestación que ofrece un proveedor para alojar sitios o aplicaciones web en sus servidores, de modo que puedan ser accesibles a través de Internet.

adaptación, al permitir cambiar textos, imágenes y elementos gráficos sin alterar el núcleo de la herramienta.

Desde la perspectiva tecnológica, el uso de Next.js y Vercel facilita el escalamiento en términos de tráfico: la plataforma puede atender incrementos en el número de usuarios sin requerir reconfiguraciones manuales significativas. Eventualmente, podría integrarse almacenamiento en la nube para guardar series históricas de huellas agregadas por temporada o tipo de visitante, habilitando análisis longitudinales<sup>26</sup> y reportes para la gestión turística regional.

## **6.9 Costos y mantención**

Finalmente, los costos operacionales de la herramienta se mantienen acotados gracias al uso de servicios con modalidad gratuita para proyectos de tamaño medio en la plataforma Vercel. El principal costo recurrente corresponde al dominio web y, eventualmente, a niveles superiores de uso de la plataforma en caso de un tráfico muy elevado. Esto permite que la calculadora pueda mantenerse en el tiempo sin requerir una infraestructura compleja ni presupuestos elevados, lo que favorece su sostenibilidad como instrumento de apoyo a la gestión ambiental de la Reserva.

En el caso de la mantención, se identifican dos componentes principales: la mantención técnica y la mantención de contenido. La mantención técnica incluye la actualización periódica de dependencias de software, la verificación de compatibilidad con nuevas versiones de navegadores y la revisión de eventuales incidencias de seguridad reportadas en librerías utilizadas. Dado que la lógica de negocio está encapsulada en funciones bien definidas, estas tareas se pueden programar de manera preventiva, por ejemplo, mediante revisiones semestrales y requieren principalmente horas de trabajo de un profesional con competencias en desarrollo web. La mantención de contenido, por su parte, es crítica en el contexto de una calculadora de huella de carbono. Implica una necesaria actualización de factores de emisión cuando emergen nuevos inventarios nacionales, cambios en la matriz eléctrica o nuevas normativas climáticas, así como la revisión de textos de ayuda y recomendaciones de mitigación. Este proceso puede gestionarse en coordinación con profesionales del área ambiental de la reserva de biósfera o de organismos asociados, de forma que la herramienta refleje siempre la mejor información disponible.

---

<sup>26</sup> Se entiende por análisis longitudinales a aquellos estudios que observan la evolución de una misma población o conjunto de datos a lo largo del tiempo, permitiendo identificar tendencias, cambios y patrones temporales.

## 7. Resultados

En este capítulo se presentan los principales resultados obtenidos a partir del desarrollo, implementación y validación inicial del prototipo de calculadora de huella de carbono para visitantes de la Reserva de Biósfera. En particular, se expone el funcionamiento general de la herramienta, los resultados del proceso de desarrollo, los antecedentes derivados de las pruebas y validaciones realizadas, y los principales hallazgos obtenidos en relación con su desempeño técnico, funcional y su aporte potencial a la promoción de prácticas de turismo más sustentable.

### 7.1 Resumen general de resultados obtenidos

El desarrollo de la calculadora de huella de carbono para visitantes de la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja” culminó en un prototipo funcional que integra en una única plataforma web el cálculo de emisiones por visita, la entrega de recomendaciones de mitigación y un módulo interactivo de compromiso del usuario. Este sitio web se identificó como “[huellareservabiosfera.cl](http://huellareservabiosfera.cl)”.

El sistema consigue estimar la huella en CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) desagregada en las seis categorías descritas anteriormente (transporte ida/regreso, transporte local, alojamiento, alimentación, actividades y residuos/agua) y presenta los resultados mediante gráficos y tarjetas explicativas adaptadas al contexto de la reserva de biósfera.

Desde el punto de vista técnico, el prototipo demuestra que es posible implementar, con tecnologías web modernas, desde la creación con un lenguaje especializado a uno simplificado, un modelo de cálculo coherente con lineamientos internacionales de estimación de huella de carbono y de programas nacionales como HuellaChile, manteniendo a su vez una experiencia de usuario fluida y adecuada para todo tipo de visitantes.

Por otra parte, desde el punto de vista funcional, las pruebas internas y el piloto acotado con usuarios permiten constatar que el flujo de uso es comprensible y que el sistema responde con tiempos de carga aceptables. En la mayoría de las pruebas realizadas, estos tiempos resultaron rápidos, lo que se traduce en una experiencia positiva para los usuarios. Asimismo, las salidas entregadas por la plataforma fueron percibidas por los participantes como creíbles y útiles.

En virtud de los resultados preliminares de aplicación del prototipo, asociados a contenidos, se confirman patrones descritos en la literatura analizada, donde el transporte, especialmente para el caso de desplazamientos de larga distancia, concentra la mayor parte de las emisiones

turísticas. A su vez, el módulo de acciones sugeridas permite traducir esos resultados en recomendaciones concretas, alineadas con principios de turismo sustentable promovidos por el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) y por organismos internacionales asociados al sector (SERNATUR, 2011).

## **7.2 Funcionamiento del prototipo funcional**

El prototipo final resultante, desplegado en un entorno productivo mediante la combinación de Next.js y Vercel (descrita en el capítulo anterior), opera como una aplicación web responsiva, accesible desde navegadores de escritorio y dispositivos móviles. El flujo de interacción se articula en siete pasos consecutivos: Identificación, Transporte, Alojamiento, Alimentación, Actividades, Residuos y agua, y Resultado. Cada paso corresponde a un módulo de captura de datos que alimenta el estado global de la visita y, finalmente, al motor de cálculo, visualizado en el módulo final de resultados. En el módulo de resultados, el prototipo muestra:

- Un gráfico circular (tipo donut) que presenta la distribución porcentual de la huella entre las distintas categorías.
- Un indicador central con el valor total de la huella en kg CO<sub>2</sub>e para la visita (por ejemplo, 38,72 kg CO<sub>2</sub>e en el caso ilustrativo de la Figura 7).
- Una clasificación de perfil de impacto (bajo, medio, alto), acompañada de un texto interpretativo que ayuda al usuario a contextualizar el valor obtenido.
- Un listado de acciones principales según mayor contribución, ordenadas por el potencial de reducción de emisiones asociado a la categoría prioritaria.
- Una pestaña adicional de “Acciones sugeridas”, donde se destacan tres compromisos generales: plantar un árbol nativo, compromiso “basura cero” y apoyo a comunidades locales, ya que son válidos para cualquier tipo de visita.

Además, al presionar con el cursor sobre cada acción prioritaria se despliega en una tarjeta detallada, que organiza la información en tres momentos (antes, durante y después de la visita) e incluye un control deslizante de compromiso entre 0 % y 100 %. De este modo, el prototipo no solo entrega un resultado numérico, sino que guía al usuario hacia decisiones concretas de mitigación, reforzando tanto la dimensión educativa como de concientización de la herramienta, logrando orientación y un sello distintivo, esto, en línea con recomendaciones de la literatura

sobre comunicación de huella de carbono y cambio de comportamiento proambiental (Lenzen et al., 2018).

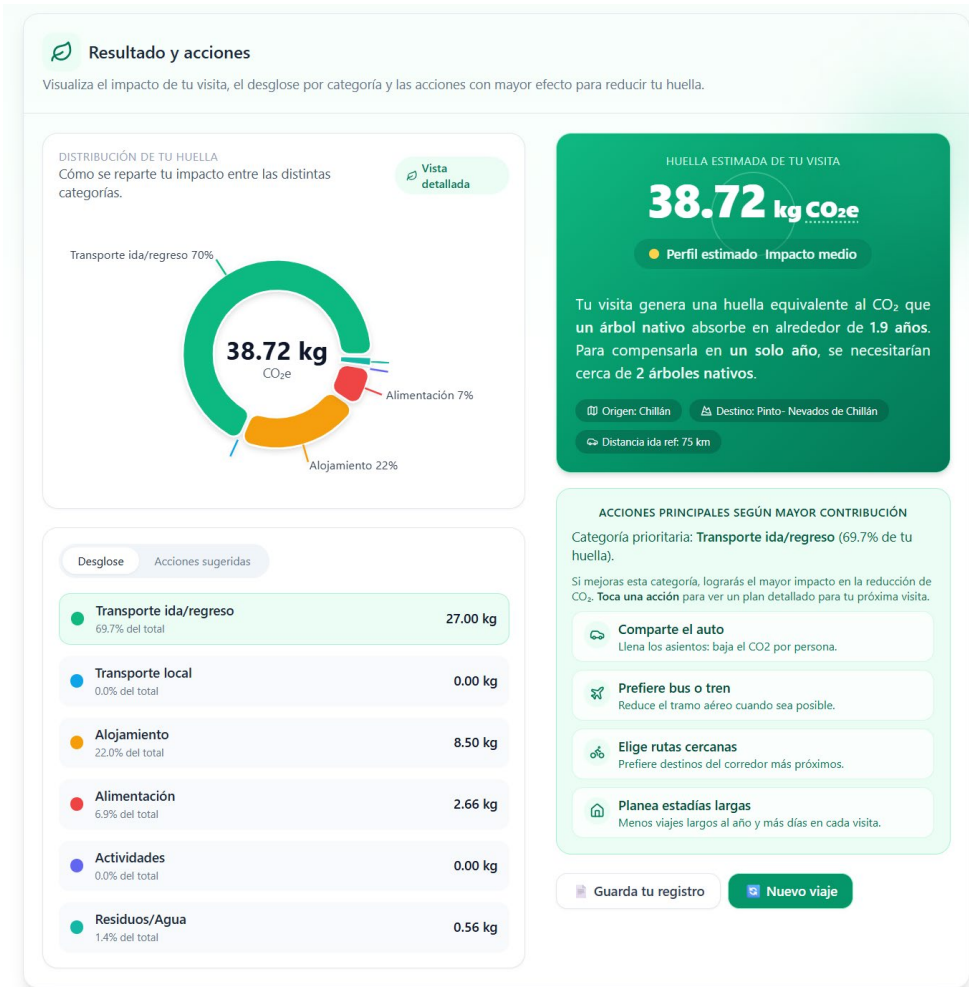
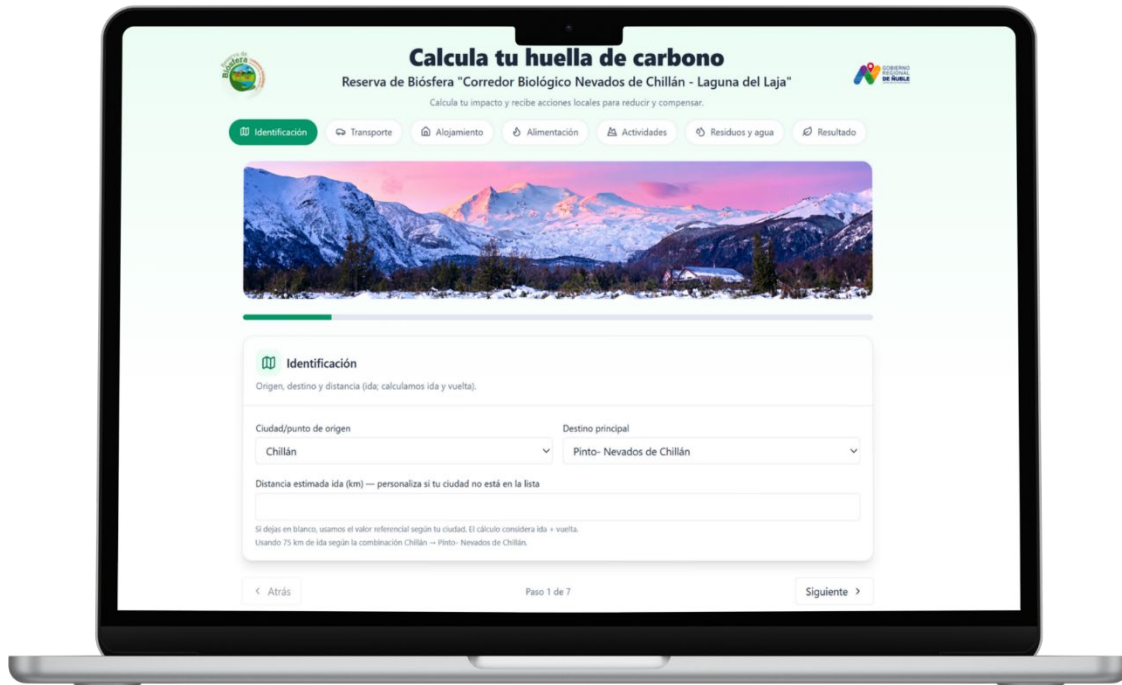


Figura 7. Captura de pantalla de módulo de resultados del sitio web visualizado en portátil.  
Fuente: Elaboración Propia

### 7.3 Resultados del proceso de desarrollo

Las decisiones clave durante el proyecto se orientaron a (i) privilegiar una experiencia de usuario simple y contextual, (ii) asegurar trazabilidad de factores de emisión y transparencia metodológica, y (iii) mantener una arquitectura ligera, escalable y de bajo costo para su uso en un territorio con demanda estacional. Lo anterior se expresa en el diseño del módulo de identificación mostrado en la Figura 11, el cual evidencia una interfaz limpia, una organización secuencial de la información y una estructura orientada a facilitar la interacción del usuario con la herramienta.

Durante el desarrollo se abordaron desafíos técnicos y de alcance propios de un prototipo web con componentes de cálculo y generación de reportes. El desglose de incidencias, ajustes y decisiones se documenta en el Anexo I.



*Figura 4. Captura de pantalla del módulo de identificación en sitio web visualizado en portátil.  
Fuente: Elaboración Propia*

## **7.4 Resultados de validación y pruebas piloto**

La validación del prototipo se concibió como un proceso gradual, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas:

1. Pruebas internas de funcionamiento (en dispositivos de escritorio y móviles).
2. Aplicación de encuestas de satisfacción y percepción a usuarios que utilizan la herramienta.
3. Análisis de métricas de uso obtenidas a través de la analítica web.

De forma general, la evidencia recopilada muestra que la herramienta es comprensible, se percibe como útil para sensibilizar sobre impactos del viaje y permite identificar categorías dominantes de emisiones. Asimismo, la analítica inicial sugiere patrones de navegación

coherentes con el flujo diseñado. Los resultados desagregados (preguntas, gráficos y reportes) se incluyen en el Anexo I.

### **7.5 Hallazgos principales**

En síntesis, los resultados del desarrollo y puesta en marcha de la calculadora permiten extraer varios hallazgos relevantes. Primero, la combinación de un modelo de cálculo basado en factores de emisión reconocidos, una arquitectura web moderna y un despliegue en plataforma administrada demuestra ser suficiente para conseguir una herramienta funcional, ligera y de fácil mantención, alineada con iniciativas tanto nacionales como internacionales, con ella se obtiene viabilidad técnica y operativa.

Segundo, aunque los datos de prueba aún son limitados, los resultados preliminares sugieren patrones de huella en línea con la literatura, que evidencian que el turismo representa una fracción significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (de Bellaigue, 2020).

De acuerdo con la encuesta realizada, se destaca la buena aceptación y percepción de utilidad, los usuarios participantes valoran positivamente la claridad del flujo de pasos, la presentación visual de los resultados, la posibilidad de descargar un reporte en PDF y las acciones sugeridas que se brindan. Debido a esto, la herramienta deja de ser percibida solo como un “cálculo”, como en la mayoría de los casos, pasa a convertirse en una útil guía para planificar visitas más sustentables.

Además, se destaca el potencial educativo del módulo de acciones y compromisos, ya que permite traducir la información numérica en propuestas concretas, reforzando la toma de conciencia sobre la propia huella e incentivando prácticas que disminuyen su emisión.

Finalmente, como base para futuras líneas de investigación y gestión: la estructura de datos generada abre el espacio a poder realizar análisis más profundos en el futuro, tales como la estimación de huellas promedio por temporada, la comparación entre distintos perfiles de visitantes o la evaluación longitudinal del impacto de campañas de educación ambiental.

## **8. Discusión de resultados**

En este capítulo se analizan e interpretan los principales resultados obtenidos a partir del desarrollo, implementación y evaluación preliminar de la calculadora de huella de carbono para visitantes de la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”. La discusión aborda tanto el comportamiento del modelo de cálculo y la experiencia de uso de la plataforma, como su coherencia con el marco teórico y la literatura científica revisada. Asimismo, se examina su aporte potencial a la gestión del turismo sustentable y territorial, considerando dimensiones de usabilidad, eficiencia tecnológica, costos, escalabilidad, limitaciones y oportunidades de mejora, con el fin de valorar integralmente el alcance y la proyección del proyecto.

### **8.1 Análisis e interpretación global de los resultados**

Los resultados obtenidos a partir de la implementación y lanzamiento del sitio web de la calculadora permiten sostener que la herramienta cumple su propósito central: traducir en términos comprensibles la huella de carbono asociada a una visita turística a la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” e identificar, de manera priorizada, las categorías con mayor contribución y las acciones con mayor potencial de mitigación para así poder tomar acción (traducible a recomendaciones).

En términos cuantitativos, los valores de huella estimada por visita se concentran en rangos aproximados de [30-150] kg CO<sub>2</sub>e, esto medido acorde a diferentes pruebas realizadas con la calculadora de huella de carbono desarrollada, entendiendo respectivamente que un valor cercano a 30 kg CO<sub>2</sub>e está asociado a visitantes que viven en las cercanías de la reserva o directamente dentro de ella, con pocos días de alojamiento y patrones de consumo moderados. Al contrario, los valores cercanos a 150 kg CO<sub>2</sub>e o superiores, se producen por visitantes de sectores más lejanos, con una planificación de mayor tiempo de estadía y patrones de consumo variables. Estos resultados son coherentes con la conformación de la oferta turística del territorio (predominio de viajes de corta y media distancia y estadías de pocos días).

Por otra parte, la visualización principal en la sección “Resultado y acciones”, que combina un gráfico de anillo (donut) con el valor total en kg CO<sub>2</sub>e al centro y un desglose porcentual por categorías, facilita interpretar de inmediato qué componente del viaje domina la huella: en los escenarios de prueba realizados, el “Transporte ida/regreso” tiende a concentrar la mayor parte

de las emisiones, seguido del “Alojamiento” y, en menor medida, de la “Alimentación” y otras categorías como “Residuos y agua” y “Actividades”.

Esta distribución es consistente con la evidencia internacional, según la cual el transporte suele concentrar la mayor parte de las emisiones turísticas, seguido por el alojamiento y, en menor medida, por la alimentación y otras actividades (UNWTO, 2019). En las pruebas realizadas, la calculadora reproduce este patrón mediante una estructura muy similar de modelo de cálculo y la priorización de acciones sugeridas personalizadas de acuerdo con la huella del visitante, lo que conlleva una mayor visibilidad a la categoría dominante en la interfaz de resultados.

Desde la perspectiva de la ingeniería, el comportamiento del sistema ante distintos perfiles de viaje muestra que la parametrización implementada (factores de emisión locales, matrices de distancia y supuestos de ocupación) permite distinguir con suficiente sensibilidad entre visitas de bajo impacto (viajes cortos, transporte compartido, decisiones cuidadosas en alimentación) y visitas de alto impacto (largas distancias en vehículo o avión, baja ocupación de asientos, estadías intensivas en energía). En paralelo, la tarjeta de “Perfil estimado” en el módulo de resultados y su *tooltip* explicativo que clasifica al usuario en rangos de impacto bajo, medio y alto, es una incorporación clave para transformar un número que puede resultar abstracto en una categoría intuitiva de desempeño ambiental, lo que facilita la comparación entre visitas y a lo largo del tiempo.

## **8.2 Relación con el marco teórico y la literatura científica**

Los resultados se consignan en el marco teórico desarrollado en capítulos anteriores, con especial mención en la literatura sobre huella de carbono en el turismo y en las metodologías de cálculo de emisiones de GEI. El hecho de que el transporte concentre la mayor parte de la huella se alinea con los estudios de la Organización Mundial del Turismo (OMT), que cuantifican que las emisiones relacionadas con el transporte turístico representaron alrededor del 5 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> en 2016, con una fuerte contribución de los viajes de larga distancia (UNWTO, 2019). De igual forma, la contribución del alojamiento coincide con análisis de ciclo de vida de hoteles y cabañas, donde el consumo de energía para calefacción, climatización y agua caliente sanitaria es el principal determinante de su huella (The Travel Foundation, 2024).

A nivel nacional, la aproximación metodológica usada en la calculadora comparte lógica con la herramienta HuellaChile del Ministerio del Medio Ambiente, que promueve el cálculo

estandarizado de emisiones a partir de factores de emisión oficiales y la aplicación de los principios del IPCC para inventarios de GEI (Ministerio del Medio Ambiente et al., 2019). Si bien la plataforma digital se orienta a visitas individuales y no a organizaciones, comparte elementos clave: uso de factores por unidad de actividad, trazabilidad de supuestos y posibilidad de incorporar nuevos factores a medida que se actualicen las bases de datos oficiales.

### **8.3 Valor de la calculadora para la gestión del turismo sustentable y la gestión territorial**

Desde la perspectiva de la gestión del destino, la calculadora de huella de carbono se convierte en una herramienta de apoyo a la decisión, tanto para visitantes como para actores públicos y privados. En línea con la Estrategia Nacional de Turismo Sostenible 2035 y los planes sectoriales de adaptación al cambio climático para el turismo, que destacan la importante necesidad de disponer de información cuantitativa sobre emisiones y riesgos climáticos para así poder orientar en la planificación territorial y contribuya a movilizar la inversión pública.

El prototipo desarrollado aporta un mecanismo operativo para cuantificar las emisiones de carbono de los visitantes por tipo de transporte, tipología de alojamiento y patrón de alimentación, a partir de datos agregados anónimos. Identificar las categorías que más inciden en la huella del destino, lo que permite priorizar acciones de gestión, por ejemplo, mejorar la oferta de transporte público o buses coordinados desde ciudades cercanas, ya que hoy en día es la oferta es muy limitada. Así como, el beneficio de poder realizar campañas de educación ambiental, para luego comparar en el tiempo la proporción de visitantes que reportan decisiones más sustentables luego de llevarlas a cabo.

El módulo de “Acciones sugeridas” y las tarjetas de “Tres compromisos generales”: planta un árbol nativo, compromiso “basura cero” y apoyo a comunidades locales, refuerzan además el vínculo entre la experiencia de cálculo y la contribución concreta al territorio, integrando dimensiones climáticas, de economía local y de manejo de residuos. Dicha integración está alineada con el enfoque de turismo de bajo impacto y beneficios compartidos que promueven tanto la UNESCO para las reservas de biósfera como el propio Gobierno de Chile en sus lineamientos de turismo sustentable (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

## **8.4 Eficiencia tecnológica, costos y escalabilidad del modelo serverless**

### **8.4.1 Eficiencia de costos frente a modelos tradicionales**

La decisión de implementar la calculadora sobre un esquema *serverless* gestionado por Vercel, en lugar de optar por un servidor dedicado o un servicio tradicional, tiene implicancias directas en los costos de operación. Los modelos *serverless* y de “plataforma como servicio” permiten pagar únicamente por el uso efectivo de recursos (peticiones, ancho de banda, almacenamiento), eludiendo costos fijos de servidores continuamente encendidos. Como se vio en capítulos anteriores, estudios comparativos muestran que, para aplicaciones con tráfico variable y de baja a mediana intensidad, como las calculadoras educativas orientadas a turismo, este enfoque puede reducir significativamente los costos totales de propiedad, al tener planes de costo gratuito dependiendo del tráfico generado, lo que conlleva a la minimización del tiempo en tareas para la administración de infraestructura.

En el contexto de una reserva de biósfera con recursos limitados para operación tecnológica, esta eficiencia de costos es muy relevante, al permitir que la plataforma se mantenga activa durante todo el año sin requerir un equipo de tecnologías de información (TI) especializado y sin sacrificar seguridad, al contar con certificados SSL otorgados por Vercel y pudiendo realizar actualizaciones automáticas a la herramienta.

### **8.4.2 Escalabilidad y rendimiento ante la demanda turística**

El uso conjunto de Next.js y Vercel permite que la mayoría de los recursos de la calculadora ya sea el código JavaScript, hojas de estilo e imágenes, se distribuyan mediante redes de entrega de contenido (CDN), lo que reduce la latencia percibida por usuarios que acceden desde distintas regiones del país. En temporadas de alta demanda turística, el proveedor escala automáticamente los recursos necesarios para atender un mayor número de visitas simultáneas, sin necesidad de dimensionar manualmente servidores o balanceadores de carga.

Desde una perspectiva de ingeniería de software, esta escalabilidad “elástica” se enmarca con la variabilidad propia del turismo de montaña/aventura, con alzas muy marcadas en invierno y verano. En lugar de sobredimensionar la infraestructura técnica para el peor escenario, se adopta un enfoque adaptativo que se ve alineado tanto con la racionalidad económica como con la reducción del consumo energético asociado a la infraestructura digital.

### **8.5 Usabilidad, percepción de calidad y concientización ambiental**

Los resultados de las encuestas y pruebas piloto con usuarios sugieren que la calculadora es percibida como una herramienta intuitiva, visualmente atractiva y alineada con la identidad de la Reserva. Estos puntos son claves, para potenciar su uso por parte de la administración, ya sea en el Parque Nacional Laguna del Laja, en las reservas nacionales o en puntos estratégicos donde la concentración de visitantes sea mayor. La estructura en siete pasos secuenciales, con barras de progreso y encabezados claros (“Identificación”, “Transporte”, “Alojamiento”, etc.), facilita que el visitante comprenda la lógica del flujo y complete el cálculo sin necesidad de instrucciones externas.

En particular, los elementos de diseño presentes en la sección de resultados contribuyen a una experiencia pedagógica y de concientización más que meramente informativa. La equivalencia en años de absorción de un árbol nativo y el número aproximado de árboles necesarios para compensar en un año, traducen el resultado en una metáfora concreta que conecta con la realidad del territorio forestal de la reserva de biósfera. Y las acciones priorizadas y los compromisos generales transforman el diagnóstico en un plan de acción simple, con enfoque temporal (antes, durante y después de la visita) y con mecanismos de compromiso subjetivo, pero buscando sensibilizar al visitante y generar valor.

### **8.6 Limitaciones de la herramienta y del estudio**

En coherencia con buenas prácticas de investigación aplicada, es importante explicitar las limitaciones tanto de la calculadora como del estudio que la acompaña. Se utilizaron factores de emisión promedio para el transporte, el alojamiento y la alimentación, que no capturan toda la variabilidad real, por ejemplo, diferencias de eficiencia entre vehículos, tipos de leña o matrices energéticas específicas de cada alojamiento, esto debido a la evidencia limitada dentro de la literatura disponible. Además, la herramienta se basa en la información proporcionada por el visitante, lo cual introduce riesgos de error de estimación o sesgo de memoria, creando una dependencia de datos autodeclarados especialmente cuando se utiliza luego de haber visitado el área.

Por otra parte, el modelo de distancias está diseñado para las principales ciudades emisoras de flujo turístico hacia la Reserva, por lo que su uso en orígenes menos frecuentes puede requerir ajustes manuales. Finalmente, como limitación para la calculadora, se encuentra que los datos empíricos de uso (encuesta y pruebas de uso) corresponden a una fase piloto limitada en tiempo

y tamaño de muestra, por lo que no permiten inferencias estadísticamente representativas para toda la población de visitantes.

En el caso de las limitaciones del estudio de evaluación, la encuesta se basó en muestras de conveniencia (visitantes que aceptan participar), lo que puede llevar a una sobrerrepresentación, por el hecho de ser personas que en su mayoría ya están sensibilizadas con temas ambientales. Además, no se dispone aún de un seguimiento longitudinal que permita evaluar si la intención de cambio declarada se traduce efectivamente en cambios conductuales en viajes futuros. Reconocer estas limitaciones no invalida los resultados, pero sí orienta la manera en que deben ser interpretados: como una aproximación operativa y de bajo costo para estimar y comunicar la huella de visitas turísticas, más que como un inventario exhaustivo de emisiones del territorio.

### **8.7 Oportunidades para futuras versiones y recomendaciones basadas en evidencia**

A partir del análisis anterior, se identifican varias líneas de mejora y desarrollo futuro, entre las que se puede destacar el profundizar la robustez del modelo de cálculo, esto se puede llevar a cabo incorporando factores de emisión más desagregados (por ejemplo, según año y tipo de vehículo, tipo de combustible para calefacción, menú alimentario específico) y actualizaciones periódicas de acuerdo con las bases de datos oficiales del Ministerio de Medio Ambiente y el IPCC. Igualmente, la posibilidad de integrar capacidades de almacenamiento y análisis de datos agregados, que permitan construir series históricas de huella por temporada, tipo de visitante y categoría de emisión, alimentando indicadores de gestión de la reserva de biósfera y de la institucionalidad regional.

### **8.8 Implicancias para políticas públicas locales y para la ingeniería**

Para concluir, los resultados y su discusión tienen implicancias tanto para la política pública local como para la práctica de la Ingeniería Civil Industrial aplicada a la gestión ambiental. A los gobiernos regionales y municipales, la calculadora ofrece un insumo cuantitativo, pudiendo integrarse en instrumentos de planificación como planes de desarrollo turístico, estrategias de descarbonización regional o planes de acción de cambio climático a escala comunal o regional.

Así el proyecto demuestra cómo un modelo relativamente complejo de cálculo de emisiones puede encapsularse en una herramienta de uso sencillo, accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet, y cómo las decisiones de arquitectura (*serverless*, analítica de eventos, entre otros.) impactan en la sostenibilidad técnica y económica de la solución.

## 9. Conclusiones y recomendaciones

El proyecto desarrolló, para la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja”, una calculadora de huella de carbono orientada específicamente a las visitas turísticas individuales. La herramienta integra en una sola plataforma web los principales componentes que determinan las emisiones asociadas a un viaje: transporte ida y regreso, movilidad local, alojamiento, alimentación, actividades turísticas y manejo de residuos y agua.

A partir de la revisión de literatura sobre cambio climático, turismo y huella de carbono se estableció un modelo conceptual coherente con los estándares internacionales de cuantificación de emisiones (UNWTO, 2019) y con las orientaciones obtenidas a partir de retroalimentación obtenida de la oferta de calculadoras de huella de carbono presentes en la web y del programa nacional HuellaChile del Ministerio del Medio Ambiente. Sobre esas bases, se definieron factores de emisión y supuestos específicos para el contexto de la reserva de biósfera, utilizando información local y rangos de referencia estudiados a partir de la literatura para el transporte, la energía, la alimentación y los residuos.

Desde la perspectiva de la Ingeniería Civil Industrial, el desarrollo de la plataforma se concibe como un sistema de apoyo a la toma de decisiones que transforma datos simples que el visitante ya maneja (ciudad de origen, noches, tipo de transporte, etc.) en información accionable: una estimación numérica de emisiones, un desglose por categorías y un conjunto de recomendaciones priorizadas para reducir el impacto. Asimismo, la implementación tecnológica mediante una arquitectura web moderna y liviana permite que la herramienta sea accesible desde dispositivos móviles en terreno, con bajos requerimientos de infraestructura, bajos costos y atendiendo a la inestable conectividad que puede estar ligada a destinos rurales o más apartados dentro de la reserva de biósfera. En consecuencia, se busca en el visitante obtenga valor de esta herramienta y genere concientización de su visita, así guiar al camino a sendas cada día más sostenibles.

El objetivo general de la memoria fue diseñar e implementar una calculadora de huella de carbono para las visitas turísticas a la Reserva de Biósfera ‘Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja’, que permita estimar las emisiones de CO<sub>2</sub>e asociadas a la visita y entregar orientaciones concretas para su reducción y compensación.

En relación con los resultados presentados en los capítulos anteriores, se puede concluir que el objetivo general se cumple de manera satisfactoria. Se desarrolló un prototipo funcional en producción, accesible vía web, que guía al usuario mediante un flujo determinados de pasos hasta el resultado de la emisión obtenida. Seguido a ello, la plataforma no solo calcula, sino que educa, concientiza y moviliza, ofreciendo equivalencias pedagógicas y acciones sugeridas con foco en transporte, residuos y economía local. Actualmente, el usuario puede ingresar al sitio web y utilizar sin ningún inconveniente la plataforma, lo que en un futuro permitirá afinar aún más su pertinencia y usabilidad.

En síntesis, el presente proyecto transforma un desafío conceptual, como es cuantificar la huella de un viaje turístico, en una solución concreta, utilizable y adaptable, que se inserta en las estrategias de turismo sustentable de la Reserva y del país.

A continuación, se presentan recomendaciones diferenciadas por tipo de actor.

Para la administración de la Reserva

1. Difundir la institucionalización de la calculadora como herramienta oficial: la calculadora de huella de carbono formará parte de la Reserva de Biósfera, por consiguiente, se insta a dar visibilidad a la integración de esta plataforma a los canales formales y oficiales de la Reserva (sitio web, redes sociales, material impreso, códigos QR en lugares estratégicos y centros de información).
2. Articular la herramienta con programas de restauración y compensación: vincular explícitamente las equivalencias de “plantar un árbol nativo” y “apoyar comunidades locales” con iniciativas existentes de restauración ecológica y desarrollo local presentes en la zona, de modo que la calculadora actúe como puerta de entrada a programas concretos de participación ciudadana.
3. Mantener y actualizar factores de emisión: establecer un mecanismo periódico de revisión de los factores de emisión y supuestos del modelo, por ejemplo, de manera semestral o anual, en coordinación con organismos técnicos nacionales (MMA, GORE, universidades, entre otros.), para asegurar la vigencia consistente y científica de la herramienta.

#### Para operadores turísticos del territorio

1. Integrar el cálculo de huella en la comunicación con clientes: se recomienda que alojamientos, operadores de actividades y empresas de transporte incorporen enlaces o códigos QR hacia la calculadora en sus sitios web, redes sociales y puntos de venta, invitando a los turistas a estimar su huella antes, durante o después de la visita.
2. Utilizar los resultados para diferenciar la oferta: los operadores pueden usar la información al hacer estimaciones de su interés, sobre categorías más incidentes y acciones de mitigación para diseñar productos turísticos más bajos en carbono, por ejemplo, paquetes con transporte compartido, rutas de menor distancia, alojamientos con calefacción eficiente, entre otros.
3. Retroalimentar la herramienta con información operativa: se recomienda establecer un canal de comunicación efectivo con la administración de la Reserva y la Universidad de Concepción para ajustar factores y supuestos a partir de datos de consumo real (combustible, energía, ocupación), mejorando la precisión del modelo.

#### Para futuros desarrollos tecnológicos

1. Profundizar la analítica de uso y la segmentación de visitantes: una línea de trabajo futuro consiste en enriquecer la analítica siguiendo en los lineamientos de anonimización de datos, pero incorporando variables como temporada, tipo de viaje o vía de acceso a la calculadora, lo que permitiría segmentar mensajes y acciones educativas de forma más particular.
2. Desarrollar una API pública y aplicaciones complementarias: se recomienda desarrollar una API segura que permita a terceros (operadores, plataformas de reserva, aplicaciones móviles) poder utilizar el motor de cálculo, ampliando el alcance de la herramienta a otros puntos de contacto con el visitante.
3. Explorar estrategias de gamificación y fidelización: futuras versiones podrían incorporar elementos de gamificación (medallas, comparaciones anónimas, desafíos por temporada) para incentivar la reducción de la huella, manteniendo siempre un enfoque educativo y de concientización.

Para la escalabilidad a otras reservas de biósfera de Chile

1. Adaptar matrices y factores sin cambiar la lógica central: gracias a la separación entre lógica de negocio y presentación, la calculadora puede adaptarse a otras reservas o destinos turísticos principalmente modificando matrices de distancia, tipologías de alojamiento y actividades típicas, manteniendo la misma forma actual de estructura de cálculo.
2. Generar una red de destinos con métricas comparables: la adopción de un mismo modelo básico por parte de varias áreas protegidas podría dar origen a una red de destinos con indicadores comparables de huella de carbono del turismo, útil para la creación o mejora de políticas públicas y la cooperación entre territorios y entidades.
3. Articular con programas nacionales e internacionales: con motivo de ampliar su modelo, se recomienda explorar la vinculación de la calculadora con iniciativas nacionales e internacionales, orientadas de forma principal al turismo en áreas protegidas, de manera de posicionar la experiencia de la reserva de biósfera como caso piloto replicable.

En conclusión, la presente memoria de título aporta con una contribución concreta, replicable y orientada a la toma de decisiones para la gestión del turismo sustentable en un territorio de alta relevancia ecológica y social. En tal sentido, el proyecto demuestra que es posible diseñar soluciones que, al mismo tiempo, integren datos, optimicen recursos, estandaricen criterios, reduzcan incertidumbre y mejoren procesos de decisión, sin dejar de tener en cuenta la fundamental dimensión humana del cambio y sea un aporte a la transformación cultural.

Finalmente, en un escenario actual marcado por la urgencia climática, esta plataforma digital propone algo más que medición: habilita una nueva forma de relacionarse con el territorio, donde el viaje deja de ser solo consumo de paisaje y actividades, en cambio, se convierte también en responsabilidad informada. Así, la herramienta implementada no solo calcula emisiones; abre un camino para institucionalizar prácticas, orientar políticas y fortalecer una cultura de sostenibilidad con impacto real en Chile y, potencialmente, en otros destinos con desafíos similares.

## **Glosario**

**Alcance:** Concepto utilizado para delinear las fuentes de emisiones directas e indirectas, mejorar la transparencia, y proveer utilidad para distintos tipos de organizaciones y de políticas de cambio climático y metas empresariales, se definen tres "alcances" para propósitos de reporte y contabilidad de GEI (alcance 1, alcance 2 y alcance 3).

**Alcance 1:** Las emisiones directas ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad o están controlados por la empresa; emisiones provenientes de la producción química en equipos de proceso propios o controlados.

**Alcance 2:** incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa. Electricidad adquirida se define como la electricidad que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa. Las emisiones del alcance 2 ocurren físicamente en la planta donde la electricidad es generada.

**Alcance 3:** es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa.

**Antrópico:** Lo relativo (por estar asociado, influido, ser perteneciente o incluso contemporáneo) al hombre entendido como especie humana o ser humano.

**Calentamiento Global:** Corresponde al incremento de las temperaturas a nivel global, causado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que ha generado cambios en los patrones del clima, aumentando el nivel del mar y la frecuencia e intensidad de los climas extremos.

**Cambio Climático:** Cambio del clima atribuido directamente atribuido directamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

**Carbono Equivalente (CO<sub>2</sub> e):** Unidad de medida usada para indicar el potencial de calentamiento global de los GEI, comparándolos con el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Los gases de efecto invernadero distintos del CO<sub>2</sub> son convertidos a su valor de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) multiplicando la masa del gas en por su potencial de calentamiento global.

**Efecto Invernadero:** Es el proceso natural por el cual algunos gases que se encuentran en la atmósfera retienen la radiación proveniente del sol y la reemiten a la superficie de la tierra calentándola, lo que permite el desarrollo favorable de la vida en nuestro planeta. Este proceso se ha visto alterado por la acción antrópica, que ha contribuido al aumento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero, lo que ha incrementado considerablemente las temperaturas en el planeta.

**Factor de Emisión (FE):** son una herramienta que permite conocer los kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes (kgCO<sub>2</sub>e), que se emiten a la atmósfera con el uso de diversos tipos de energéticos.

**Gases de Efecto Invernadero (GEI):** Gases presentes en la atmósfera de forma natural y antrópica, los que absorben y emiten la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases son: el Vapor de Agua (H<sub>2</sub>O), el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Metano (CH<sub>4</sub> y Ozono (O<sub>3</sub>). Además, existen otros gases generados netamente por el Hombre como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro. El Protocolo de Kioto considera también como GEI el Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los Hidrofluorocarbonos (HFC) y los Perfluorocarbonos (PFC).

**GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol):** La iniciativa del protocolo de gases de efecto invernadero es una alianza multipartita de varias entidades, entre empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGS), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (IMR) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (CMEDE). Se trata de una coalición de cerca de 170 empresas y cuya sede se localiza en Ginebra, Suiza. El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) es la herramienta más utilizada para la contabilidad internacional para que los líderes gubernamentales y empresariales para entender, cuantificar y controlar las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Huella de Carbono:** Es la medida de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan por una persona u organización durante el proceso de fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

**ISO 14064:2006:** Norma que define un conjunto de criterios para la contabilización y verificación de las emisiones de gases invernadero. Define las mejores prácticas internacionales en cuanto a gestión, informe y verificación de datos e información referidos a gases invernadero.

**Neutralización (de emisiones):** proceso por el cual se garantiza que las emisiones generadas por una determinada empresa, producto, servicio o actividad son compensadas con créditos de carbono y así no contribuyen al cambio climático.

## Referencias Bibliográficas

- Aguirre-Munizaga, M. (2025). Sistemas de información gerencial como una herramienta clave para la toma de decisiones en las organizaciones. *MQR Investigar*, 9(1), 1–15.
- Cifuentes, M. (1992). *Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). [https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-51898/1992\\_METODOLOG%C3%8DA%20CIFUENTES.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-51898/1992_METODOLOG%C3%8DA%20CIFUENTES.pdf)
- Congreso Nacional de Chile. (1999). *Ley N.º 19.628 sobre protección de la vida privada*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=141599>
- Congreso Nacional de Chile. (2022). *Ley N.º 21.455: Ley marco de cambio climático*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>
- Contreras López, M., Llano Ramos, S., Agredano Martín, R., & Rabeiro Rodríguez, Y. C. (2022, noviembre). *Cambio climático y turismo: Guía de adaptación y mitigación para el turismo litoral* [Guía]. Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) & Subsecretaría de Turismo, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Chile). <https://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2024/01/cambio-climatico-y-turismo-guia-de-adaptacion-y-mitigacion-para-el-turismo-litoral-foledado.pdf>
- Coordinador Eléctrico Nacional. (2022, abril). *Guía metodología de cálculo de factores de emisión en RENOVA* [PDF]. <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2022/04/guia-Factor-Emision-Renova.pdf>
- de Bellaigue, C. (2020, 18 de junio). *The end of tourism? The Guardian*. <https://www.theguardian.com/travel/2020/jun/18/end-of-tourism-coronavirus-pandemic-travel-industry>
- Dirección General de Obras Públicas. (2025, julio). *Guía de huella de carbono para los proyectos del Ministerio de Obras Públicas – 2025* [PDF]. Ministerio de Obras Públicas (Chile). [https://dgop.mop.gob.cl/uploads/sites/5/2025/07/Guia\\_de\\_Huella\\_de\\_Carbono\\_para\\_proyectos\\_del\\_MO\\_P\\_2025.pdf](https://dgop.mop.gob.cl/uploads/sites/5/2025/07/Guia_de_Huella_de_Carbono_para_proyectos_del_MO_P_2025.pdf)
- Gössling, S., & Scott, D. (2018). The decarbonisation impasse: Global tourism leaders' views on climate change mitigation. *Journal of Sustainable Tourism*, 26(12), 2071-2086.
- Gössling, S., Balas, M., Mayer, M., & Sun, Y.-Y. (2023). *A review of tourism and climate change mitigation: The scales, scopes, stakeholders and strategies of carbon management*. *Tourism Management*, 95, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104681>
- Greenhouse Gas Protocol. (2011). *Corporate value chain (Scope 3) accounting and reporting standard*. <https://ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Cambio climático 2013: Bases físicas* (Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del IPCC) [PDF]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2026). *About the IPCC*. <https://www.ipcc.ch/about/>
- International Organization for Standardization. (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*. <https://www.iso.org/standard/66453.html>
- Iturraspe, R. (2010). *Las turberas de Tierra del Fuego y el cambio climático global*. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International. [https://ceab-rizoma.com/wp-content/uploads/2021/04/Las\\_turberas\\_de\\_Tierra\\_del\\_Fuego\\_y\\_el\\_Ca\\_compressed.pdf](https://ceab-rizoma.com/wp-content/uploads/2021/04/Las_turberas_de_Tierra_del_Fuego_y_el_Ca_compressed.pdf)
- Leal Londoño, M. del P. (2017). *Turismo ecológico y sostenible: Perfiles y tendencias* [Informe]. Ostelea School of Tourism & Hospitality. [https://www.aept.org/archivos/documentos/Informe\\_Turismo%20Ecologico.pdf](https://www.aept.org/archivos/documentos/Informe_Turismo%20Ecologico.pdf)
- Lenzen, M., Sun, Y.-Y., Faturay, F., Ting, Y.-P., Geschke, A., & Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8(6), 522–528. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>
- Mathieson, A., & Wall, G. (1982). *Tourism: Economic, physical, and social impacts*. Longman Group. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0047287583022001131>
- Ministerio de Energía. (2025). *Factor de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional*. <https://energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>
- Ministerio del Medio Ambiente (Chile), División de Cambio Climático, Programa HuellaChile. (2024, 28 de noviembre). *Factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono: Nivel básico* (Versión 3) [PDF]. [https://huellachile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/11/HuellaChile-DCC-Factores-de-emision-nivel-basico\\_v3.pdf](https://huellachile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/11/HuellaChile-DCC-Factores-de-emision-nivel-basico_v3.pdf)
- Ministerio del Medio Ambiente (Chile), Subsecretaría de Turismo (Chile), & Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2019). *Plan de adaptación al cambio climático del sector turismo en Chile* [PDF]. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/Plan-CC-Sector-Turismo.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (Chile). (2025). *Huella de carbono*. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2016). *Plan de acción de turismo sustentable en áreas protegidas del Estado 2014–2018*. Gobierno de Chile. <https://ccps.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/09/Plan-de-Accion-de-Turismo-Sustentable-en-Areas-Protegidas-del-Estado.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2025). *Plataforma Políticas de la Biodiversidad (SIMBIO)*. <https://simbio.mma.gob.cl/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (España), Oficina Española de Cambio Climático. (2025, noviembre). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización* [PDF]. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)

- Moreira-Muñoz, A., & Borsdorf, A. (Eds.). (2014). *Reservas de la biosfera de Chile: Laboratorios para la sustentabilidad*. Academia de Ciencias Austriaca; Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Geografía.
- Muñoz Rebolledo, M. D. (2024). *Informe técnico: Propuesta plan de desarrollo turístico de la Reserva de Biósfera*. Universidad de Concepción. [https://drive.google.com/file/d/1\\_WBleEXzNOtJNWD4ajGZUfQZTBo8ybtt/view](https://drive.google.com/file/d/1_WBleEXzNOtJNWD4ajGZUfQZTBo8ybtt/view)
- Pfanzelt, S., Grau, J., & Rodríguez, R. (2008). *A vegetation map of Nevados de Chillán volcanic complex, Biobío Region, Chile*. *Gayana Botánica*, 65(2), 209–219. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432008000200007>
- Pliscoff, P., & Luebert, F. (2008). Ecosistemas terrestres. En Comisión Nacional del Medio Ambiente (Ed.), *Biodiversidad de Chile: Patrimonio y desafíos* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 74–88). Ocho Libros Editores.
- Red Mundial de Reservas de Biosfera de Montaña. (2024). *Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja* [Ficha informativa]. [https://www.mountainbiosphere.org/wp-content/uploads/2024/08/Ficha\\_Corredor\\_Biologico\\_es-en-cn.pdf](https://www.mountainbiosphere.org/wp-content/uploads/2024/08/Ficha_Corredor_Biologico_es-en-cn.pdf)
- San Martín, P. (2014). Reserva de la biosfera Corredor Biológico Nevados de Chillán–Laguna del Laja: De la amenaza de la extinción al desarrollo sustentable. En A. Moreira-Muñoz & A. Borsdorf (Eds.), *Reservas de la biosfera de Chile: Laboratorios para la sustentabilidad* (pp. 146–160). Academia de Ciencias Austriaca; Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Geografía.
- Schirpke, U., Scolozzi, R., Dean, G., Haller, A., Jäger, H., Kister, J., Kovács, B., Sarmiento, F. O., Sattler, B., & Schleyer, C. (2020). *Cultural ecosystem services in mountain regions: Conceptualising conflicts among users and limitations of use*. *Ecosystem Services*, 46, 101210. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101210>
- Servicio Nacional de Turismo [SERNATUR]. (2011). *Chile, por un turismo sustentable: Manual de buenas prácticas, sector turístico*. <https://portalserviciosturisticos.sernatur.cl/wp-content/uploads/2022/11/Manual-BP-Sector-Turismo.pdf>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2026). *¿Qué son reservas de biosfera?* Gobierno de Costa Rica. <https://www.sinac.go.cr/es/reserbiosfe/paginas/queson.aspx>
- Subsecretaría de Turismo. (2018). *Plan de acción para la gestión participativa de zonas de interés turístico (ZOIT): Zona de Interés Turístico Pinto* [PDF]. Gobierno de Chile. [https://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2015/10/Plan-de-Acci%C3%B3n-ZOIT\\_PINTO.pdf](https://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2015/10/Plan-de-Acci%C3%B3n-ZOIT_PINTO.pdf)
- Subsecretaría de Turismo. (2023). *Turismo sustentable en áreas protegidas del Estado: Apuesta presente y futuro* [PDF]. <https://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2023/02/turismo-sustentable-en-ap.pdf>
- Subsecretaría de Turismo. (2024). *Cambio climático y turismo: Guía de adaptación y mitigación para el turismo litoral* [PDF]. <https://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2024/01/cambio-climatico-y-turismo-guia-de-adaptacion-y-mitigacion-para-el-turismo-litoral-foledado.pdf>
- Sustainable Hospitality Alliance. (2020). *Hotel Carbon Measurement Initiative (HCMI), version 1.2* [PDF]. <https://sustainablehospitalityalliance.org/wp-content/uploads/2020/02/HCMI-v1.2-June-2020.pdf>
- The Travel Foundation. (2024). *Blueprint for tourism climate action plans: A guide for regional authorities and destination management organizations (DMOs)* [PDF]. Interreg Euro-MED Sustainable Tourism Mission. [https://sustainable-tourism.interreg-euro-med.eu/wp-content/uploads/sites/6/c4t/blueprint\\_tourism\\_climate\\_action\\_plans.pdf](https://sustainable-tourism.interreg-euro-med.eu/wp-content/uploads/sites/6/c4t/blueprint_tourism_climate_action_plans.pdf)

- UNESCO. (2011). *Corredor Biológico Nevados de Chillán-Laguna del Laja, Reserva de la Biósfera*. Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB). <https://www.unesco.org/en/mab/corredor-biologico-nevados-de-can-laguna-del-laja>
- UNESCO. (2026). *¿Qué son las reservas de biosfera?* <https://www.unesco.org/es/mab/wnbr/about>
- United Nations Environment Programme [UNEP], & World Tourism Organization [UNWTO]. (2005). *Making tourism more sustainable: A guide for policy makers*. UNEP & UNWTO. <https://www.e-unwto.org/doi/book/10.18111/9789284408214>
- UNWTO. (2019). *Sustainable mountain tourism – Opportunities for local communities*. World Tourism Organization. <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284420285>
- World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *Protocolo de gases efecto invernadero: Estándar corporativo de contabilidad y reporte* (edición revisada) [PDF]. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/protocolo\\_spanish.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/protocolo_spanish.pdf)

## **Anexos**

### **Anexo A. Importancia ecosistémica y productiva del territorio (detalle)**

La importancia del territorio trasciende la esfera estrictamente ecológica y se extiende su entramado a la dimensión productiva y cultural. Lo que refuerza la necesidad de herramientas de gestión que permitan monitorear impactos del turismo y orientar decisiones locales.

Desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos, el corredor biológico provee agua para consumo humano y actividades productivas, junto con ello, contribuye a la regulación de caudales y al control de inundaciones, participa activamente en la captura y almacenamiento de carbono en sus bosques y suelos, igualmente protege suelos frente a la erosión y ofrece espacios recreativos de alto valor paisajístico (FIC, 2024). Estos servicios son esenciales para el bienestar y buen vivir de las comunidades locales y para un funcionamiento efectivo de la economía regional.

La presencia de ecosistemas de alta fragilidad, como humedales alto andinos y laderas de fuerte pendiente sujetas a procesos erosivos, hace que el territorio sea especialmente sensible a las intervenciones humanas. La expansión de la actividad turística hacia nuevos valles, la apertura de nuevas rutas para vehículos motorizados y el desarrollo de infraestructura en sectores de alta pendiente pueden generar impactos acumulativos sobre los bienes naturales locales, perjudicando la calidad del hábitat y la conectividad ecológica del corredor. En este contexto, la conservación de la biodiversidad no solo se vincula a la protección de especies individuales, sino también al mantenimiento de procesos ecológicos de largo plazo, como la regeneración de bosques después de erupciones volcánicas, la dispersión de semillas, los ciclos de nutrientes y la regulación hídrica de las cuencas (IPCC, 2019).

En términos productivos, la zona de transición de la reserva de biósfera es escenario de actividades agrícolas, ganaderas, forestales y, crecientemente, de servicios turísticos. Comunas como Pinto, San Fabián y Antuco han experimentado un cambio gradual en su matriz productiva, incorporando el turismo como un motor relevante de empleo e ingresos. La proliferación de cabañas, hostales, restaurantes, centros termales y emprendimientos de turismo rural, han producido la diversificación de las actividades económicas tradicionales, generando nuevas oportunidades para las familias locales, no obstante, también se debe considerar la

dependencia de la estacionalidad y la vulnerabilidad frente a eventos extremos no previstos, como crisis sanitarias o climáticas (UNWTO, 2018).



*Figura 5. Registro de huemul en Reserva Nacional Huemules de Niblinto  
Fuente: CONAF*

## **Anexo B. La industria del turismo en el territorio**

### **2.2.1 Perfil del visitante y comportamiento de la demanda**

Si bien, no existe aún una plataforma o sistema integral y permanente de medición de flujos turísticos y perfiles de visitantes dentro de la reserva de biosfera, existen estudios puntuales y Big Data relacionado con el gobierno, entre ellas, se encuentran las Estadísticas de Turismo (SERNATUR / Subsecretaría de Turismo) y las Estadísticas de Visitación SNASPE (CONAF/ Subsecretaría de Turismo), mostrando que la demanda se compone mayoritariamente de visitantes nacionales, provenientes de ciudades como Santiago, Concepción, Chillán y otras urbes del centro-sur. En los informes anuales recientes para el Parque Nacional Laguna del Laja, la proporción histórica se mantiene sobre el 98% de visitantes chilenos y menos del 2% de extranjeros (SERNATUR, 2024). En invierno, por ejemplo, el perfil del visitante se asocia con personas y familias de ingresos medios y altos interesadas en deportes de nieve, con estadías que suelen fluctuar entre fines de semana y una semana completa. En verano, la demanda se diversifica e intensifica aún más, incluyendo grupos familiares, jóvenes, aficionados a deportes

de aventura y turistas motivados por la naturaleza, la fotografía y el descanso en entornos naturales alejados de la ciudad (Hernández, 2014).

De acuerdo con reportes de SERNATUR (2014), en términos de comportamiento, los visitantes suelen optar por alojamientos en el valle de Las Trancas o en zonas rurales cercanas, desplazándose diariamente hacia el centro de ski u otros puntos de interés. La mayoría utiliza automóvil particular como medio de transporte principal, a menudo con baja ocupación de vehículos. Esta práctica, frecuente en destinos de montaña, tiene un efecto directo en el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al viaje, especialmente cuando los orígenes se encuentran a más de 200 o 300 kilómetros del destino. Otro factor que destacar es la falta de transporte público frecuente y moderno hacia las zonas cordilleranas, reforzando la dependencia del vehículo privado, que automáticamente configura un patrón de movilidad de alta huella de carbono.

### **2.2.2 Oferta turística y estacionalidad**

La oferta turística del territorio se distribuye principalmente en torno a tres destinos predilectos: el sector de Las Trancas y Nevados de Chillán en la comuna de Pinto, los valles cordilleranos y ríos de San Fabián, finalizando con el Parque Nacional Laguna del Laja y Antuco. Cada uno de estos polos presenta un perfil turístico particular, pero comparten ciertos elementos comunes: presencia de alojamiento rural, servicios de alimentación, oferta de actividades al aire libre y vínculos con áreas de conservación tanto de carácter particular como de protección estatal; parques nacionales o reservas forestales.

El Gobierno Regional de Ñuble (2024), plantea que, en la comuna de Pinto, el desarrollo turístico se ha articulado principalmente en torno al centro de ski y a la oferta termal, con una fuerte concentración de servicios en el valle de Las Trancas. En San Fabián, por su parte, el énfasis se ha orientado al turismo de naturaleza, pesca recreativa, rafting y actividades vinculadas a los ríos y las montañas circundantes. Mientras que Antuco (región del Biobío), combina elementos de turismo de naturaleza, patrimonio histórico y acceso al Parque Nacional Laguna del Laja. La estacionalidad se manifiesta en todos estos sectores, con variaciones de ocupación que, en algunos casos, multiplican varias veces la población residente durante periodos de alta demanda (feriados, temporada invernal y estival).

Esta marcada estacionalidad vislumbra desafíos relevantes para la gestión de infraestructura, servicios básicos y planificación territorial. La presión sobre sistemas de agua potable rural, manejo de aguas servidas y disposición de residuos se incrementa de manera significativa en temporadas altas, al igual que la necesidad de gestionar adecuadamente el tránsito, el estacionamiento y la seguridad en rutas cordilleranas. En este escenario, la industria del turismo se beneficia directamente de los valores ecosistémicos del territorio, pero al mismo tiempo contribuye a generar impactos ambientales que, de no gestionarse adecuadamente, pueden comprometer la calidad del paisaje y la integridad de los ecosistemas que la propia actividad turística valora y utiliza (Buckley, 2011).

## **Anexo C. Problemáticas ambientales asociadas al turismo**

### **2.3.1 Impacto del transporte y la conectividad rural**

El transporte hacia y dentro de la reserva de biósfera representa la principal fuente de emisiones asociada al turismo y a su vez el desafío más crítico para la descarbonización del destino. Según el Ministerio del Medio Ambiente (2023), dentro del sector energía el subsector transporte concentra un 56,8 % de las emisiones regionales (900,1 ktCO<sub>2e</sub>), y el 94,4 % de esas emisiones proviene del transporte terrestre (automóviles, camiones y autobuses). En el estudio realizado por la Universidad de Concepción y Gobierno Regional de Ñuble (2024), se determinó que la conectividad dentro de la reserva de biósfera presenta brechas significativas, caracterizada por una alta dependencia del vehículo particular debido a la escasa frecuencia y cobertura del transporte público rural, especialmente en zonas de amortiguación como Pinto y San Fabián. Esta dinámica obliga a los visitantes a utilizar el automóvil privado para acceder a atractivos dispersos, incrementando las emisiones per cápita.

Según el Ministerio del Medio Ambiente (2023), el subsector transporte es la principal fuente de emisiones del sector energía en Ñuble y se sustenta casi por completo en el transporte terrestre. En distancias de 200 a 400 kilómetros, un viaje en automóvil con baja ocupación puede generar varias decenas de kilogramos de CO<sub>2e</sub> por persona, lo que refuerza la relevancia de abordar el modo de viaje en cualquier estrategia de mitigación asociada al turismo cordillerano. La falta de alternativas de transporte público frecuente y de bajo impacto, como buses directos en temporada alta, refuerza este patrón.

A nivel interno, la movilidad se organiza en torno a traslados diarios desde las comunas o alojamientos en valles cordilleranos hacia el centro de ski u otros atractivos. En invierno, se suma transporte motorizado como motos de nieve y vehículos 4x4 para acceder a sectores con mayor acumulación de nieve o terrenos complejos. Estos patrones de movilidad no solo incrementan las emisiones de GEI, sino que también aumentan el riesgo de accidentes, el ruido y la perturbación de fauna en sectores sensibles.

### **2.3.2 Uso de leña, gestión de residuos y consumo hídrico**

La climatización de espacios turísticos es otro nodo crítico. De acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente (2022), el uso de leña para calefacción en la zona centro-sur es la principal fuente de material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>), afectando la calidad del aire en valles encajonados como Las Trancas, ya que posee un uso generalizado. En el contexto de la reserva de biósfera, la oferta de alojamiento cabañas y hostales depende en la actualidad mayoritariamente de biomasa, muchas veces sin certificar o con altos niveles de humedad, lo que exacerba las emisiones de monóxido de carbono (CO), material particulado (MP<sub>2,5</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), contribuyendo tanto al cambio climático como a la contaminación local del aire (IPCC, 2019).

En materia de residuos sólidos, estudios sobre la provincia de Ñuble destacan la centralidad del relleno sanitario “CITA Ecobio”, en Chillán Viejo, y advierten que la creciente generación de residuos domiciliarios y asimilables en comunas rurales plantea desafíos de transporte, costos y riesgos ambientales asociados a la concentración de la disposición final en un solo sitio, ya que aumentan las emisiones indirectamente por transporte de residuos (Ramos & Rivas, 2016).

Esta presión se ve reforzada por el desarrollo turístico en valles cordilleranos como Las Trancas, donde todavía se está avanzando en sistemas formales de agua potable y alcantarillado; Según la Dirección de Presupuestos (2025), la construcción de un sistema de agua potable y alcantarillado para el sector Las Trancas se encuentra en etapa de pre-factibilidad, lo que evidencia que la infraestructura sanitaria aún está en proceso de adecuación frente al aumento de la demanda turística.

### **2.3.3 Actividades de nieve y consumo energético**

Las actividades invernales poseen una intensidad energética particular, esto, en gran medida, a la dificultad de desplazamiento que desprenden. Según SERNATUR (2019), en sus manuales de sustentabilidad, los centros de montaña, como el presente en Valle Las Trancas, requieren un alto consumo eléctrico para la operación de andariveles y, crecientemente, de energía fósil para maquinaria de pistas y generación de nieve artificial ante la variabilidad climática.

En el caso específico del destino Nevados de Chillán, la concentración de actividades en la zona núcleo implica un consumo energético intensivo en un área de alta sensibilidad ambiental. Adicionalmente, el uso recreativo de motos de nieve y vehículos motorizados 4x4 fuera de pista,

aunque regulado, genera emisiones directas y compactación de suelo, lo cual sumado al retroceso de la cota de nieve proyectado por el cambio climático, exige una gestión mucho más eficiente de los recursos para mantener la viabilidad operativa del destino a largo plazo.

#### **2.3.4 Presión sobre la capacidad de carga e infraestructura**

El aumento de visitas genera una presión directa sobre los servicios básicos. Según la Universidad de Concepción y Gobierno Regional de Ñuble (2024), uno de los nudos críticos para el desarrollo turístico del territorio es la insuficiencia de infraestructura habilitante, como agua potable rural (APR) y alcantarillado, para soportar los peaks de demanda en invierno y verano.

Caminos, estacionamientos y puntos de recolección de basura se ven exigidos al límite, lo que se traduce en problemas de abastecimiento, acumulación temporal de residuos y deterioro de la experiencia turística, lo que afecta no solo al visitante, sino que compromete la disponibilidad de recursos para las comunidades locales. Mirando desde la vereda de una óptima gestión, esta presión evidencia la necesidad de contar con instrumentos que permitan dimensionar la magnitud del fenómeno, requiriendo herramientas de monitoreo y planificación de intervenciones para mejoras desde una perspectiva de sustentabilidad.

## **Anexo D. Estado del arte y revisión bibliográfica (detalle)**

### **3.2 Huella de carbono en el sector turismo**

#### **3.2.1 Definiciones**

La huella de carbono se ha consolidado como un indicador clave para cuantificar el impacto climático de actividades, productos, organizaciones, territorios, así como en la gestión de la sustentabilidad. De acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente (2025), este indicador se define como la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto, asociadas directa o indirectamente a un sistema en un periodo de tiempo determinado expresados en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>). Esta definición ha sido adoptada y operativizada por distintos marcos metodológicos que, aunque nacen para aplicaciones corporativas o nacionales, han sido progresivamente aplicados a sectores específicos, entre ellos el turismo.

#### **3.2.2 Metodologías y estándares internacionales (IPCC, GHG Protocol, ISO 14064 / HCMII)**

El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) es un órgano de apoyo científico y técnico creado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988. Compuesto por expertos científicos en cambio climático de todo el mundo con el fin de hacer el análisis exhaustivo, abierto y transparente de los riesgos asociados a los impactos en el cambio climático, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación de este. Buscando facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta (IPCC, 2026). Aunque su foco primario son los inventarios nacionales, su estructura por categorías (energía, procesos industriales, agricultura, residuos, etc.) y su enfoque de factores de emisión constituyen la base para múltiples metodologías sectoriales, incluyendo aquellas aplicadas al turismo.

A nivel corporativo, el GHG Protocol se ha convertido en el estándar de facto para la contabilidad de gases de efecto invernadero (GEI) en empresas y organizaciones. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI (ECCR) establece principios de relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión, y define lineamientos para el establecimiento de límites organizacionales, la identificación de fuentes de emisión y la

selección de métodos de cálculo (ECCR, 2025). Posteriormente, la Norma de Contabilidad y Reporte de la Cadena de Valor Corporativa (Alcance 3) permite a las empresas evaluar el impacto total de sus emisiones en la cadena de valor e identificar dónde centrar las actividades de reducción, donde el uso del servicio por parte del cliente genera una parte importante de la huella, como ocurre precisamente en el turismo (GHG, 2025).

En paralelo, la norma ISO 14064 es un estándar de carácter internacional que establece las bases para acreditar y garantizar los cálculos realizados para el reporte de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de las organizaciones, proporcionando especificaciones y orientaciones para la cuantificación, el monitoreo y la elaboración de inventarios a nivel de organización y de proyecto. La norma ISO 14064-1:2018, en particular, establece principios y requisitos para cuantificar y reportar emisiones y remociones de GEI a nivel organizacional, incluyendo el diseño, desarrollo y gestión de inventarios de GEI (ISO, 2018). Cabe destacar que, estas normas no están diseñadas específicamente para el turismo, pero son utilizadas de igual forma por empresas del sector que buscan reportar su desempeño ambiental de manera reconocida internacionalmente.

En el sector turismo, iniciativas como el Hotel Carbon Measurement Initiative (HCMI) surgen como un esfuerzo de la industria hotelera, liderado por el World Travel & Tourism Council (WTTC) y la Sustainable Hospitality Alliance, para desarrollar una metodología común que permita calcular y comunicar la huella de carbono de estancias y eventos en hoteles. HCMI define parámetros estandarizados para calcular emisiones por habitación ocupada y por área de salas de reuniones, a partir de datos como consumo de energía, combustibles, refrigerantes y ocupación (HCMI, 2020). Sin embargo, de acuerdo con la Universidad de Concepción y Gobierno Regional de Ñuble (2024), en territorios complejos como la reserva de biósfera, la falta de estandarización en la medición de servicios rurales (como cabañas informales o campings) obliga a adaptar estas metodologías corporativas a modelos simplificados que puedan ser gestionados por el propio visitante o microempresario.

En síntesis, el estado del arte muestra una convergencia: los inventarios nacionales se respaldan en IPCC; la contabilidad corporativa se estructura en torno al GHG Protocol y la ISO 14064; y sectores específicos, como la hotelería, desarrollan metodologías propias (HCMI) que, sin contradecir lo anterior, “aterrizan” los principios en realidades concretas. La herramienta

propuesta para la reserva de biósfera se inspira bajo esta lógica: utilizar marcos internacionales como base, pero adaptados al contexto particular del turismo aventura de montaña en Chile.

### **3.3 Particularidades chilenas en la medición de huella**

#### **3.3.1 Factores de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)**

En Chile, uno de los elementos clave para la estimación de la huella de carbono de consumos eléctricos es la definición de factores de emisión presentados por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Según el Ministerio de Energía (2024), a través de su plataforma de datos abiertos, el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ha mostrado una tendencia decreciente sostenida gracias a la penetración de energías renovables no convencionales (ERNC), situándose en valores cercanos a 0,24 kgCO<sub>2</sub>e/kWh en las últimas actualizaciones.

La disponibilidad de estos factores es particularmente relevante para el presente proyecto, dado que utilizar un factor promedio mundial sobreestimaría la huella eléctrica de un turista en Ñuble, pudiendo desestimar las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico en alojamientos, centros de ski u otros servicios turísticos de la Reserva. Por tanto, el sistema propuesto se alimenta directamente de los valores reportados por el Coordinador Eléctrico Nacional (2023), permitiendo que el cálculo refleje la realidad energética actual de la zona centro-sur de Chile.

Además, el Coordinador Eléctrico Nacional ha desarrollado guías técnicas donde se detallan conceptos como factor de emisión operacional y de construcción del sistema, lo que demuestra un esfuerzo institucional por transparentar la huella de carbono de la generación eléctrica y facilitar su utilización en estudios sectoriales y de proyectos (Coordinador Eléctrico Nacional, 2021).

#### **3.3.2 Programa HuellaChile y guías sectoriales**

El Programa HuellaChile, impulsado por el Ministerio del Medio Ambiente, se ha consolidado como el principal marco nacional para el cálculo, reporte y gestión de huella de carbono en organizaciones públicas y privadas. Esto debido a que el programa ofrece una plataforma en línea, sellos de reconocimiento y una base de datos de factores de emisión para diferentes categorías, incluyendo combustibles, electricidad, gestión de residuos y transporte, entre otros.

En paralelo, otros organismos sectoriales han publicado guías propias. El Ministerio de Obras Públicas (MOP), por ejemplo, cuenta con una “Guía de Huella de Carbono para proyectos del

MOP”, que orienta el uso de la huella como herramienta de evaluación ambiental de infraestructuras, proponiendo categorías de análisis, fuentes de emisión típicas y recomendaciones para la integración de la variable carbono en el ciclo de vida de los proyectos (MOP, 2025).

En el ámbito sectorial, según la Subsecretaría de Turismo y MMA (2022) en la "Guía de Adaptación al Cambio Climático para el Turismo", se recomienda explícitamente a los destinos turísticos avanzar hacia el levantamiento de inventarios de emisiones que incluyan la movilidad de los turistas, identificando este ítem como el principal desafío para la carbono-neutralidad del sector al 2050.

### **3.3.3 Transporte interurbano y combustibles en Chile**

Con avances a destacar, orientados en sendas de reducir la emisión de contaminantes, el transporte y combustible en territorio nacional introducen particularidades relevantes para la estimación de la huella de carbono de viajes turísticos. En primer lugar, la matriz de transporte interurbano se caracteriza por una alta participación del automóvil particular y del bus interurbano, con un uso creciente, pero aún minoritario, del transporte aéreo en rutas internas de media y larga distancia. De acuerdo con el diagnóstico de la Universidad de Concepción y Gobierno Regional de Ñuble (2024), la conectividad interna depende en gran medida del vehículo particular y de una red de caminos que, en invierno, exige el uso de vehículos de mayor consumo (4x4) y cadenas, alterando el rendimiento estándar del combustible, lo que refuerza el rol del transporte terrestre en la configuración de la huella de los visitantes.

Los factores de emisión de combustibles líquidos utilizados en Chile (gasolina, diésel, GLP) pueden obtenerse tanto desde bases internacionales, como las de DEFRA o IPCC, como desde las tablas específicas del programa HuellaChile, que incorporan la composición de combustibles y la normativa nacional (MMA, 2024). La combinación de distancias relevantes, por ejemplo, entre Santiago y Nevados de Chillán con una ocupación promedio relativamente baja de los vehículos particulares convierte al transporte en un componente dominante de la huella de carbono en gran parte de los viajes turísticos.

### **3.4 Benchmarking de herramientas digitales de medición disponibles**

En esta sección se revisan herramientas digitales de cálculo de huella de carbono disponibles para personas y organizaciones. El objetivo es identificar sus características, fortalezas y

limitaciones, con el fin de extraer aprendizajes aplicables al diseño de la calculadora para la Reserva de la Biósfera.

### **3.4.1 MiHuella (Chile)**

MiHuella<sup>27</sup> es una calculadora de origen nacional orientada al ciudadano, cuyo propósito principal es sensibilizar a las personas sobre el impacto climático de su estilo de vida y motivarlas a cambiar hábitos. La herramienta se presenta como un sitio web en español, con estética simple y amigable, donde el usuario responde un conjunto de preguntas relacionadas con su vivienda, su movilidad, su alimentación y otros aspectos de consumo. A partir de estas respuestas, el sistema estima la huella de carbono anual de la persona, expresada en toneladas de CO<sub>2</sub>e al año.

Una característica relevante de MiHuella es que utiliza factores de emisión adaptados al contexto chileno, especialmente para electricidad y combustibles, lo que otorga mayor pertinencia a los resultados en comparación con calculadoras basadas en promedios globales.

### **3.4.2 ClimateHero**

ClimateHero<sup>28</sup> es una calculadora internacional que busca, en pocos minutos, estimar la huella de una persona y proponerle una “ruta” para convertirse en “héroe climático”. La herramienta organiza el cuestionario en bloques temáticos (hogar, transporte, alimentación, consumo), con un diseño visualmente atractivo y un fuerte componente narrativo. Tras el cálculo, entrega un resultado anual de emisiones y sugiere compromisos de reducción, por ejemplo, reducir vuelos, cambiar la dieta o mejorar la eficiencia energética en el hogar. No obstante, del mismo modo que MiHuella, su foco está en la huella total del estilo de vida y no en la evaluación de un viaje turístico específico. Además, utiliza factores de emisión y promedios propios de su contexto principal (Europa), lo que limita su pertinencia directa para Chile.

### **3.4.3 EPA Household Carbon Footprint Calculator**

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) ofrece una calculadora de huella de carbono para hogares<sup>29</sup> que ha sido ampliamente utilizada en el mundo como referencia educativa. Esta herramienta se centra en tres grandes áreas: consumo de energía en la

---

<sup>27</sup> Fuente: <https://calcula.mihuella.cl/>

<sup>28</sup> Fuente: <https://climatehero.me/es/>

<sup>29</sup> Fuente: <https://www.epa.gov/ghgemissions/carbon-footprint-calculator>

vivienda (electricidad y calefacción), transporte y generación de residuos. El resultado se expresa en toneladas de CO<sub>2</sub>e por año, y la calculadora permite explorar el efecto de posibles medidas de reducción, como mejorar la aislación térmica, cambiar a vehículos más eficientes o aumentar el reciclaje.

La herramienta proporcionada por la EPA destaca por su nivel de transparencia: en muchos casos muestra los factores de emisión utilizados y explica cómo se realiza el cálculo. Para el diseño de la herramienta de esta memoria, esta transparencia metodológica es un aspecto por considerar, en la medida en que fortalece la credibilidad de los resultados. La principal limitación, nuevamente, es que se centra en el hogar estadounidense y en promedios y factores de ese contexto.

#### **3.4.4 Project Neutral**

Project Neutral<sup>30</sup> es una organización con base en Canadá que ha desarrollado una calculadora de huella de carbono para hogares que combina el cálculo tradicional con un enfoque de participación comunitaria. El valor añadido de Project Neutral radica en su énfasis en la “comunidad de práctica”: la calculadora no solo entrega un número, sino que también sitúa al usuario en una red social de personas que buscan reducir su impacto, lo que puede incrementar la motivación.

Para el caso de la reserva de biósfera, este enfoque sugiere la posibilidad de que una futura versión de la calculadora no solo informe al visitante, sino que también lo vincule con campañas y compromisos colectivos de reducción en el destino. Sin embargo, tal como en los casos anteriores, la herramienta no está diseñada para medir la huella de viajes específicos, sino de estilos de vida completos.

#### **3.4.5 Greenpeace México**

La connotada ONG internacional ofrece una calculadora de huella de carbono<sup>31</sup> vinculada a su estrategia de educación y movilización en temas de cambio climático y consumo responsable. Una característica distintiva de esta herramienta es su fuerte orientación a la acción: más que detallar metodologías, pone énfasis en indicar al usuario qué puede hacer para reducir su huella, vinculando el resultado con campañas y mensajes de incidencia. Esto proporciona un

---

<sup>30</sup> Fuente: <https://app.projectneutral.org/>

<sup>31</sup> Fuente: <https://consumoresponsable.greenpeace.org.mx/calcula-tu-huella-de-carbono>

aprendizaje importante para el diseño de la herramienta de cálculo de huella de carbono de la reserva de biósfera: la importancia de que el resultado no sea un dato aislado, sino que se acompañe de sugerencias concretas y contextualizadas, en este caso asociadas a la visita a un territorio de montaña.

#### **3.4.6 Plataformas corporativas y sectoriales**

Además de las calculadoras ciudadanas, existen plataformas orientadas a empresas y sectores específicos, algunos ejemplos de ellas para el rubro nacional son Colbún, Copec, Grupo SAESA, entre otros. Algunas teniendo la característica de ser comerciales y ofrecer servicios de cálculo, reporte y compensación de huella para pequeñas y medianas empresas; otras son desarrolladas por asociaciones sectoriales, como la metodología HCMI para hoteles, que se ha integrado en plataformas de certificación y gestión de sostenibilidad hotelera.

Estas plataformas comparten ciertas características: requieren información relativamente detallada de consumos (facturas de energía, registros de combustible, datos de producción o servicios), ofrecen reportes estructurados de emisiones y, en algunos casos, se integran con sistemas de certificación o financiamiento climático. Si bien su nivel de detalle y robustez metodológica es alto, no son herramientas pensadas para ser utilizadas directamente por visitantes individuales durante un viaje, sino por organizaciones que pueden dedicar tiempo y recursos a consolidar información.

En términos de diseño de la herramienta de cálculo de huella para la reserva de biósfera, estas plataformas aportan principalmente criterios de integridad metodológica y ejemplos de visualización de resultados, más que estructuras de cuestionario replicables.

#### **3.4.7 Comparación crítica de alternativas y brecha funcional**

La comparación entre las herramientas digitales revisadas permite extraer varias conclusiones y puntos relevantes para el diseño del sistema propuesto. Primero, las calculadoras ciudadanas (MiHuella, ClimateHero, EPA, Project Neutral, Greenpeace México) muestran que es posible traducir conceptos complejos en cuestionarios simples y resultados entendibles, combinando cálculo con mensajes pedagógicos y recomendaciones de acción. Sin embargo, todas ellas comparten un enfoque centrado en la huella anual de la persona o del hogar, y no en la evaluación detallada de un viaje turístico específico a un destino concreto.

Segundo, las plataformas corporativas y sectoriales, como HuellaChile y las soluciones basadas en HCMI, evidencian un alto grado de robustez metodológica y de trazabilidad de datos, pero requieren un nivel de información y de gestión que difícilmente puede tanto exigirse como cautivar a un visitante común. Están pensadas para organizaciones que disponen de registros históricos y de capacidades técnicas para elaborar inventarios completos.

En síntesis, el benchmarking realizado evidencia que ninguna de las calculadoras disponibles se ajusta plenamente al contexto del turismo de montaña en Chile. Las plataformas existentes ofrecen buenas prácticas en cuanto a diseño de experiencia de usuario, transparencia y comunicación pedagógica, pero carecen de módulos específicos sobre transporte a destinos remotos, uso de calefacción con biomasa y actividades turísticas estacionales. El desarrollo de la plataforma propuesta debe superar estas limitaciones incorporando factores de emisión locales y preguntas adaptadas a la realidad de la reserva de biósfera, a la vez que rescata la navegabilidad progresiva, la transparencia metodológica y la narrativa educativa de las mejores experiencias internacionales. De esta forma, la herramienta no solo entregará métricas de alta calidad, sino que también cumplirá un rol formativo y motivacional para los visitantes, alineado con los objetivos del Plan de Desarrollo Turístico.

### **3.5 Turismo, datos y sistemas de información web**

#### **3.5.1 El rol de la digitalización en la gestión de destinos**

La transición hacia destinos turísticos inteligentes requiere de datos. Según SERNATUR (2024) en su Hoja de Ruta para la Transformación Digital, la digitalización no es un fin, sino un medio para mejorar la competitividad y sustentabilidad. Las herramientas web permiten capturar datos de comportamiento que son invisibles para las estadísticas tradicionales, es por ello que los avances en sistemas de datos deben ser considerados como prioridad para cumplir estos requerimientos.

A nivel local, según la Universidad de Concepción y Gobierno Regional de Ñuble (2024), la gestión de la Reserva enfrenta una "asimetría de información", donde los administradores desconocen los patrones finos de consumo de los visitantes. La implementación de calculadoras web podría actuar como un mecanismo de *crowdsourcing* de datos<sup>32</sup>: mientras el turista recibe

---

<sup>32</sup> Se utiliza el término *crowdsourcing de datos* para referirse a la obtención de información a partir de las contribuciones voluntarias de múltiples usuarios o participantes, normalmente a través de plataformas digitales.

educación ambiental, el territorio recibe datos agregados sobre flujos y comportamientos, respetando la privacidad del usuario.

### **3.5.2 El visitante como agente de mitigación**

Un elemento transversal en las experiencias evidenciadas y estudiadas es la comprensión de que el visitante no es solo un “objeto de estudio”, sino también un actor clave en la mitigación de impactos y en la generación de información. Desde la perspectiva de la mitigación, estudios recientes sobre turismo y cambio climático subrayan que las decisiones individuales de viaje: elegir un modo de transporte, extender o acortar la estadía, seleccionar un tipo de alojamiento, participar o no en ciertas actividades, pueden modificar significativamente la huella total asociada a un viaje, especialmente en el caso de destinos de naturaleza donde la contribución del transporte terrestre es elevada (Gössling et al., 2023).

En Chile, documentos como la “Guía de adaptación y mitigación para el turismo litoral” y materiales de SERNATUR sobre inclusión de la dimensión turística en la gestión climática enfatizan precisamente la necesidad de que los prestadores y los destinos pasen de percepciones generales a datos cuantitativos, y que involucren a los turistas en el proceso de aprendizaje y cambio de comportamiento (Subsecretaría de Turismo & MMA, 2022; SERNATUR, 2025).

### **3.6 Selección del conocimiento aplicable al diseño de la calculadora**

Sobre la base de la revisión realizada, es posible sintetizar cuáles componentes del estado del arte se consideran directamente aplicables al diseño de la calculadora para la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja” y cuáles requieren adaptación.

En primer lugar, se incorpora el enfoque conceptual de huella de carbono y de emisiones provenientes del GHG Protocol dentro de sus alcances 1,2 y 3, no para replicar un inventario corporativo completo, sino para ordenar las categorías de emisiones relevantes del visitante: transporte (equivalente a parte del alcance 3 de distintos actores), energía en alojamiento (combinación del alcance 1 por combustibles y del alcance 2 por electricidad), actividades y residuos. Este marco asegura consistencia con estándares reconocidos y facilita la comunicación con actores que ya utilizan este lenguaje, como municipios o prestadores que participan en HuellaChile.

En segundo lugar, se seleccionan como referencia metodológica de fondo las directrices del IPCC y las tablas de factores de emisión nacionales. Esto implica utilizar factores de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) publicados por Energía Abierta y por HuellaChile para calcular emisiones por consumo de electricidad, y factores de combustibles adaptados al contexto chileno para la combustión de gasolina, diésel y leña, en lugar de recurrir a valores genéricos internacionales. De esta manera, la calculadora se alinea con la forma en que el Estado de Chile cuantifica sus emisiones y con las prácticas recomendadas por el Ministerio de Medio Ambiente (IPCC, 2019; MMA, 2024; MMA, 2025).

En tercer lugar, se toma como inspiración la metodología HCMI para definir cómo traducir consumos agregados de alojamiento (energía por noche, tipo de calefacción) en emisiones por visitante y por noche de estadía, adaptando el enfoque a un cuestionario simplificado que pueda ser respondido por el propio turista, sin acceso a datos detallados de facturación energética (HCMI, 2020).

En cuarto lugar, desde el punto de vista del diseño de interfaz y de la experiencia de usuario, se toman como referencia las calculadoras ciudadanas existentes (MiHuella, ClimateHero, EPA, Project Neutral, Greenpeace México) para definir una estructura de preguntas en pasos, el uso de equivalencias para comunicar resultados y la incorporación de recomendaciones de mitigación. No obstante, se decide mantener el foco en la huella del viaje específico y no en la huella anual del estilo de vida, lo que implica una adaptación importante respecto del enfoque de estas herramientas.

## **Anexo E. Marco teórico (detalle)**

### **4.1 Objetivo y enfoque del capítulo**

El propósito de este capítulo es establecer el marco teórico que sustenta la medición de la huella de carbono en contextos turísticos, con énfasis en destinos de montaña y áreas protegidas, cómo es el caso de la reserva de biósfera. A diferencia de los capítulos anteriores de contexto del territorio y de estado del arte, aquí se abordan de manera sistemática los conceptos y modelos necesarios para comprender qué se mide, cuando se calcula la huella de carbono de un viaje turístico y por qué estos indicadores son relevantes para la gestión de un territorio declarado como reserva de biósfera de la UNESCO.

En particular, se presentan las definiciones de cambio climático, gases de efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) y huella de carbono, junto con la noción de alcances (alcance 1, 2 y 3) utilizada en estándares internacionales. Posteriormente, se desarrolla en la aplicación de estos conceptos al turismo, especialmente al tipo de turismo que a la reserva de biósfera refiere. Se revisan los enfoques de turismo sustentable y capacidad de carga en áreas protegidas, y se introducen los sistemas de información ambientales como instrumentos de apoyo a la toma de decisiones. De este modo, el capítulo entrega la base conceptual que orienta el diseño metodológico y tecnológico desarrollado en los siguientes capítulos.

### **4.2 Cambio climático, gases de efecto invernadero y $\text{CO}_2$ equivalente**

#### **4.2.1 Gases de efecto invernadero y efecto invernadero**

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases presentes en la atmósfera que capturan energía y calientan la superficie del planeta. Sin embargo, distintas acciones humanas liberan estos gases en forma de contaminación aumentando su presencia en la atmósfera provocando el aumento de la temperatura media de la Tierra. A esto se conoce como emisiones de GEI.

Por otro lado, también es posible capturar gases de efecto de invernadero y retirarlos de la atmósfera, a este proceso se conoce como absorciones o capturas de GEI y se realiza de forma natural por ecosistemas como los bosques, océanos o humedales, entre otros (MMA, 2025).

El cambio climático contemporáneo se explica, en gran medida, por el aumento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero de origen antrópico, tales como el

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y ciertos gases fluorados (CFC). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sostiene que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que la influencia humana, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles, cambios en el uso del suelo y procesos industriales, son la causa dominante del incremento de la temperatura media global desde mediados del siglo XX (IPCC, 2013).

Estos gases actúan intensificando el efecto invernadero natural<sup>33</sup>, al absorber y reemitir la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre. En niveles moderados, este fenómeno permite mantener temperaturas compatibles con la vida; sin embargo, el aumento sostenido de las concentraciones de GEI modifica el balance radiativo del planeta y conduce a cambios en el clima a múltiples escalas espaciales y temporales (IPCC, 2013).

#### **4.2.2 Dióxido de carbono equivalente y potencial de calentamiento global**

La comparación entre gases con diferente capacidad de atrapar calor se realiza mediante el concepto de potencial de calentamiento global (Global Warming Potential, GWP), que expresa el efecto radiativo de una masa dada de un gas respecto del CO<sub>2</sub> en un horizonte temporal definido, el cual es habitualmente de 100 años (GreenFacts, 2023).

A partir de este concepto se utiliza la unidad de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), que permite expresar en una misma métrica las emisiones de distintos gases ponderadas por su GWP. Según ClimatePartner (2025) los equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e) son una medida del efecto de los diferentes gases de efecto invernadero (GEI) sobre el clima. Al convertir diferentes emisiones a la cantidad equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se pueden comparar sus impactos. De este modo, la huella de carbono de una actividad, como puede ser un viaje turístico, se reporta como la suma de todas las emisiones de GEI convertidas a CO<sub>2</sub>e, lo que facilita la agregación, comparación y comunicación de resultados.

### **4.3 Huella de carbono: definiciones, alcances y métodos de cálculo**

#### **4.3.1 Definición de huella de carbono**

---

<sup>33</sup> Se entiende por efecto invernadero natural el proceso mediante el cual ciertos gases presentes en la atmósfera (como el CO<sub>2</sub>, el metano, el óxido nitroso y el vapor de agua) retienen parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, manteniendo una temperatura media compatible con la vida.

En términos generales, la huella de carbono se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero generadas, directa o indirectamente, por una persona, organización, producto, evento o territorio, expresadas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente. (MMA, 2025)

En territorio nacional, el Ministerio del Medio Ambiente, a través del programa HuellaChile, adopta la definición descrita para promover la medición de emisiones en organizaciones públicas y privadas, subrayando su rol como herramienta de gestión para identificar fuentes de emisión, priorizar acciones de reducción y monitorear el desempeño climático en el tiempo.

Desde la perspectiva de la normalización internacional, existen estándares como la ISO 14064-1 (huella de carbono organizacional) e ISO 14067 (huella de productos), que proporcionan lineamientos para la cuantificación y reporte de emisiones de GEI en diferentes contextos (ISO, 2018).

La importancia de conocer la huella de carbono radica en la posibilidad de saber con más certeza la manera en que los GEI contribuyen al calentamiento global y aceleran el cambio climático. En términos individuales, conocer la huella de carbono que generamos ayuda a emprender acciones cotidianas que disminuyan las emisiones. Es necesario tener conciencia de esto para contribuir a un futuro más sostenible (Greenpeace México, 2020).

#### **4.3.2 Alcances 1, 2 y 3 y enfoque de cuantificación**

Para operativizar este concepto en la industria turística, se debe conocer que la huella de carbono puede ser abordada dependiendo del enfoque o alcance específico. Para cada uno de estos enfoques existen diferentes protocolos o metodologías reconocidas internacionalmente, que dan pie a la generación de reportes corporativos. Uno de los aportes centrales del Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) fue la formalización en 3 categorías de emisiones conocidas como alcances (scopes), evaluando la huella de una organización durante un periodo de tiempo determinado, normalmente un año calendario.

El alcance 1 corresponde a las emisiones directas desde fuentes que son propiedad o están bajo el control de la organización, por ejemplo, combustión de combustibles en calderas o vehículos propios. El alcance 2 agrupa las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad, vapor, calefacción o refrigeración adquiridos a un tercero. El alcance 3, finalmente, incluye otras

emisiones indirectas a lo largo de la cadena de valor, como viajes de negocio, transporte de proveedores, uso de productos por parte de los clientes o disposición final de residuos (GHG Protocol, 2015).

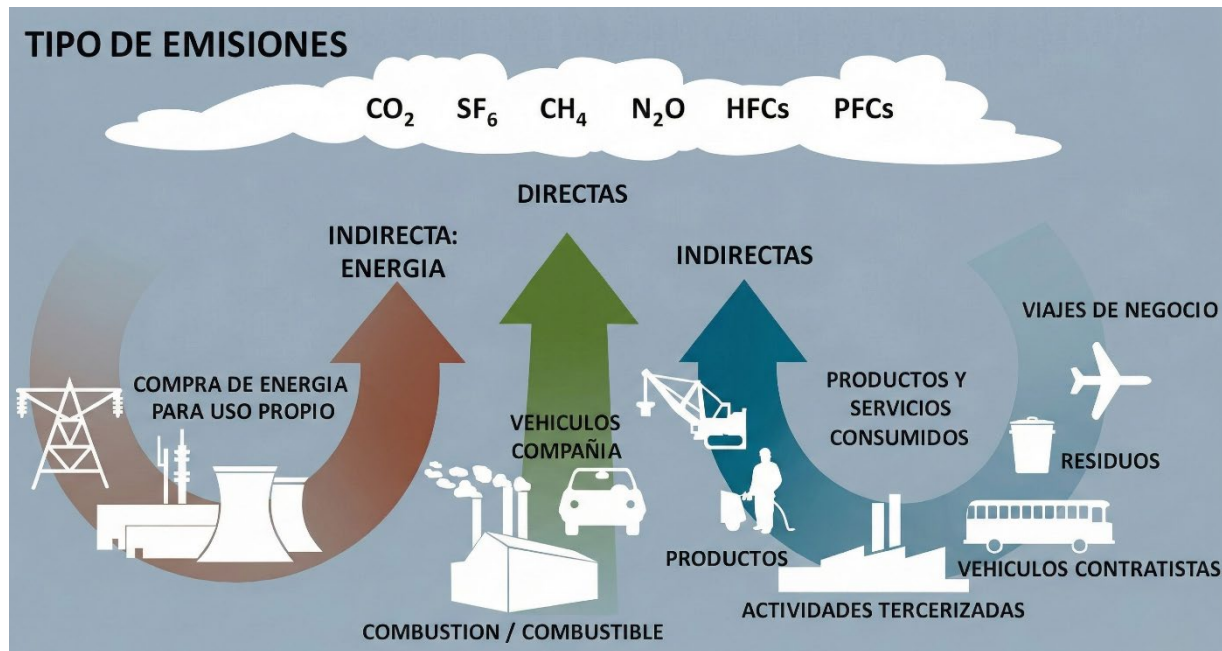


Figura 6. Alcances del GHG Protocol  
Fuente: MMA, Chile

Aunque este lenguaje fue desarrollado originalmente para empresas, resulta útil para ordenar conceptualmente la huella de carbono del turismo. En un destino como la Reserva de la Biósfera, las emisiones directas del alcance 1 incluirían, por ejemplo, la combustión de combustibles en vehículos de tour operadores locales o el uso de gas/leña para calefacción y agua caliente sanitaria en alojamientos. El alcance 2 se asociarían al consumo eléctrico de alojamientos, centros de ski y servicios complementarios. Según la Comisión Nacional de Energía (2023), aunque la matriz chilena es cada vez más limpia, el consumo eléctrico en horarios punta en zonas turísticas sigue implicando emisiones indirectas significativas. El alcance 3, abarca las emisiones ocurridas en la cadena de valor, los viajes de los visitantes desde y hacia el territorio (auto, avión, bus, etc.), la producción de alimentos consumidos, bienes adquiridos y una parte importante de los residuos generados. Desde la perspectiva de un visitante individual, la mayor parte de su huella de viaje se vincularían a estas actividades, manifestándose en un solo indicador de huella personal.

Aun cuando la tipología de alcances se originó en el contexto organizacional, su lógica puede ser aplicable a otros sistemas, incluyendo eventos particulares y destinos turísticos. En todos los casos, la cuantificación de la huella de carbono se basa en el principio general:

$$\text{Huella de carbono} = \text{dato de actividad} \times \text{factor de emisión}$$

Esto quiere decir que para cada fuente relevante se identifica un dato de actividad, por ejemplo, kilómetros recorridos, kWh consumidos, noches de alojamiento o kilogramos de residuos, y se multiplica por un factor de emisión que indica la cantidad de CO<sub>2</sub>e emitida por unidad de actividad (MITECO,2025).

Este enfoque, adoptado en diversas guías nacionales e internacionales, permite adaptar el cálculo a distintos niveles de información y así asegurar una consistencia entre inventarios realizados en distintos años o por diferentes actores.

#### **4.4 Huella de carbono aplicada al turismo de montaña**

La literatura sobre cambio climático y turismo muestra que el sector turístico es responsable de una fracción significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, asociadas principalmente al transporte de larga distancia, al consumo energético en alojamientos y al uso de infraestructura específica de ocio.

En estudios sobre turismo de montaña y de nieve, autores como Gössling (2023) señalan que el transporte hacia el destino concentra la mayor parte de la huella de carbono, especialmente cuando involucra recorridos de larga distancia en automóvil y, en menor medida, en bus o avión; le sigue el consumo energético del alojamiento (calefacción y electricidad) y, en destinos de nieve, el uso de infraestructura intensiva en energía como andariveles y sistemas de nieve artificial. A ello se suman impactos indirectos de la alimentación, en particular cuando predomina el consumo de productos de origen animal de alta huella de carbono (carnes rojas, lácteos) y ultraprocesados. Adicionalmente, la gestión de residuos contribuye igualmente de forma indirecta a la huella, aunque su peso relativo puede variar según el contexto del destino y los patrones de consumo de los visitantes.

En destinos de montaña con alta sensibilidad ecológica, la medición de la huella de carbono asociada a la experiencia turística se ha propuesto como un instrumento para: (i) visibilizar el impacto climático de las decisiones de viaje; (ii) comparar alternativas de transporte, alojamiento y actividades; y (iii) apoyar políticas de mitigación, por ejemplo, incentivando modos de transporte de menor emisión o promoviendo tecnologías de eficiencia energética en alojamientos y centros invernales.

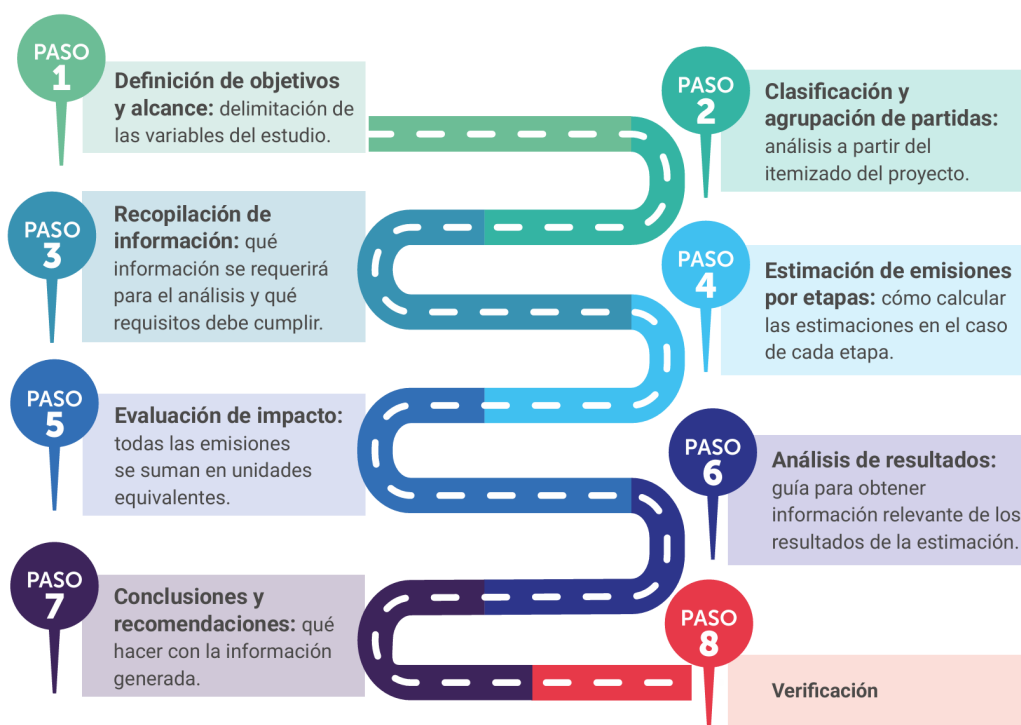
En territorios como la Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja”, en la propuesta de Plan de Desarrollo Turístico (2024) se reconoce explícitamente que el turismo de naturaleza en áreas con especies sensibles y baja intervención antrópica exige combinar el fomento turístico con mecanismos de regulación y monitoreo ambiental, entre los que se encuentran la medición de huella de carbono, la compensación y la promoción de actividades de bajo impacto.

Desde el punto de vista de la ingeniería, aplicar la huella de carbono al turismo de montaña supone traducir una problemática ambiental global (emisiones de GEI) en indicadores operacionales comprensibles para visitantes y actores locales. En este proyecto, esa traducción se materializa en un conjunto de métricas como kgCO<sub>2</sub>e por visita, por noche de alojamiento o por kilómetro recorrido, que permiten comparar alternativas y sustentar decisiones de diseño de productos turísticos y políticas de gestión de la demanda.

#### **4.5 Turismo sustentable, áreas protegidas y Reservas de Biósfera**

De acuerdo con el manual de turismo ecológico y sostenible de OSTELEA (2017), El concepto de turismo sustentable se basa en la idea de que la actividad turística debe satisfacer las necesidades de los visitantes y de las comunidades anfitrionas, al tiempo que protege y mejora las oportunidades futuras, integrando las dimensiones ambiental, sociocultural y económica.

En el caso de las Reservas de Biósfera, la UNESCO las concibe como “lugares de aprendizaje para el desarrollo sostenible”, donde se articulan la conservación de la biodiversidad, el desarrollo económico y el apoyo logístico a la investigación y la educación. Estas áreas se estructuran en zonas núcleo, de amortiguación y de transición, y se gestionan mediante enfoques participativos que buscan compatibilizar el uso del territorio con la protección de sus valores ecológicos y culturales (UNESCO, 2025).



*Figura 7. Pasos para la estimación de la Huella de Carbono en una organización  
Fuente: MMA, Chile*

En territorios donde el turismo de naturaleza constituye una de las principales actividades económicas, la incorporación de instrumentos de medición ambiental, como indicadores de huella de carbono, se encuentra alineado con las recomendaciones de organismos internacionales y con las estrategias de turismo sostenible diseñadas para áreas protegidas. En este contexto, la cuantificación de emisiones asociadas a las visitas turísticas puede entenderse como un componente de un sistema más amplio de gobernanza ambiental, que incluye, entre otros elementos, la planificación del uso público, la regulación de flujos de visitantes y el monitoreo de la capacidad de carga turística.

#### 4.6 Capacidad de carga turística en áreas protegidas

La Reserva de Biósfera “Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja” es, simultáneamente, un espacio de alta sensibilidad ecológica y un territorio en el que se promueve activamente el turismo de naturaleza. El Plan de Desarrollo Turístico advierte que el fomento turístico en áreas con especies sensibles y escasa intervención humana exige asegurar que las actividades no deterioren los ecosistemas ni el patrimonio natural y cultural, planteando la necesidad de programas de evaluación y seguimiento con indicadores robustos.

En este contexto, el concepto de Capacidad de Carga Turística (CCT) resulta central: se refiere, en términos generales, al número máximo de personas que pueden usar un sitio o sendero sin generar alteraciones severas e irreversibles de las condiciones naturales ni una disminución significativa de la calidad de la experiencia del visitante (Mathieson, 1990).

Cifuentes (1992) desarrolló una metodología específica para calcular la capacidad de carga en áreas protegidas, distinguiendo entre capacidad de carga física, real y efectiva. La capacidad de carga física considera el espacio disponible y las condiciones geométricas del sitio; la capacidad de carga real introduce factores de corrección asociados a variables ambientales (pendiente, clima, periodos de cierre, fragilidad ecológica); y la capacidad de carga efectiva incorpora las capacidades de gestión e infraestructura (personal disponible, equipamiento, servicios sanitarios, senderos habilitados, entre otros).

Si bien, la capacidad de carga no se expresa directamente en términos de emisiones de GEI, se cuantifica para el desarrollo de la calculadora, existe una relación conceptual entre ambos enfoques: mientras la capacidad de carga se centra en los límites ecológicos y sociales de uso de un sitio, la huella de carbono pone énfasis en el impacto climático de las actividades asociadas al turismo. La articulación de estas dos perspectivas permite avanzar hacia modelos de gestión que no solo regulen la cantidad de visitantes, sino que también atiendan a la intensidad de sus impactos climáticos y energéticos.

#### **4.7 Sistemas de información ambiental y calculadoras de huella como instrumentos de gestión**

Desde la perspectiva de la Ingeniería Civil Industrial y de la gestión de operaciones, los sistemas de información para la gestión ambiental se conciben como plataformas que permiten transformar datos dispersos en información útil para la toma de decisiones. En el ámbito climático, ello incluye sistemas de monitoreo de emisiones, inventarios corporativos, plataformas de reporte y herramientas de simulación de escenarios (MOP, 2025).

Las herramientas de cálculo de huella de carbono orientadas a usuarios finales, esto es, personas, organizaciones o visitantes de un territorio pueden entenderse como un tipo específico de sistema de información de soporte a decisiones. Estas herramientas:

- Traducen conceptos complejos (GEI, CO<sub>2</sub>e, alcances) en interacciones simples basadas en preguntas comprensibles para los usuarios (distancias recorridas, noches de estadía, tipo de actividades).
- Generan indicadores cuantitativos (por ejemplo, kgCO<sub>2</sub>e por visita o por noche), que pueden ser utilizados para comparar alternativas y evaluar mejoras.
- Facilitan la retroalimentación inmediata al usuario, al mostrar el efecto de sus decisiones de viaje sobre la huella de carbono y sugerir medidas de mitigación.

En el contexto de una reserva de biósfera, este tipo de sistemas puede integrarse en estrategias más amplias de educación y concientización ambiental, marketing de destinos sustentables y gestión del turismo, siempre que se diseñen respetando marcos metodológicos reconocidos (como HuellaChile, ISO 14064 o GHG Protocol) y se adapten a las condiciones específicas del territorio (MMA, 2025).

## **Anexo F. Cronograma y fases de trabajo (detalle)**

### **5.3.1 Fase 1: Diseño de la arquitectura de información y experiencia de usuario (UX)**

Esta fase tuvo como objetivo traducir los requerimientos funcionales definidos en los capítulos previos en un flujo de interacción claro y minimalista para el usuario final. Se desarrolló en dos subetapas: (i) el diseño del flujo de datos en formato “wizard”, y (ii) la aplicación de principios de usabilidad y diseño responsivo.

#### **5.3.1.1 Diseño del flujo de datos (wizard de pasos de la calculadora)**

Se optó por un patrón de diseño tipo *wizard* (asistente paso a paso), en el cual la experiencia del usuario se estructura en una secuencia lineal de módulos: (i) identificación de la visita; (ii) transporte de acceso; (iii) transporte local; (iv) alojamiento; (v) alimentación; (vi) actividades; (vii) agua y residuos; y (viii) resultados y recomendaciones.

Metodológicamente, se realizó un inventario de variables de entrada por cada módulo; por ejemplo, número de personas, comuna de origen, noches de estadía, kilómetros por modo de transporte, frecuencia de consumo de carnes. Clasificando cada variable según su tipo (numérica continua, numérica discreta, categórica) y su rol (obligatoria u opcional).

Posteriormente, se definieron reglas de transición entre pasos (no avanzar si faltan datos mínimos de transporte, permitir volver atrás sin perder información, mostrar el paso de alojamiento solo si el usuario declara pernoctación) y se construyeron bocetos de baja fidelidad (*wireframes*)<sup>34</sup> para representar el flujo de pantallas.

### 5.3.1.2 Principios de usabilidad y diseño responsivo

La interfaz se diseñó bajo un enfoque *mobile-first*<sup>35</sup>, considerando que el uso esperado incluye el acceso mediante códigos QR instalados en terreno (entradas a parques, reservas, senderos, centro de visitantes, alojamientos, etc.).

Se aplicaron principios genéricos de usabilidad web basados en las heurísticas de Nielsen (1994), tales como visibilidad del estado del sistema, correspondencia con el mundo real, consistencia y estándares, prevención de errores y énfasis en el reconocimiento por sobre el recuerdo. Concretamente, se adoptaron decisiones como:

- Incorporar un indicador de avance por pasos persistente (“Paso X de Y”).
- Utilizar etiquetas y mensajes en lenguaje sencillo, evitando tecnicismos.
- Introducir gradualmente conceptos técnicos mediante mensajes de ayuda emergente (*tooltips*)<sup>36</sup> o textos explicativos cortos.
- Asegurar un diseño responsivo con puntos de quiebre (*breakpoints*)<sup>37</sup> que permitan una correcta visualización en pantallas pequeñas, tablets y escritorio.
- Mantener botones “Atrás” y “Siguiente” claramente visibles y consistentes.

La evaluación inicial se realizó mediante pruebas heurísticas informales y pruebas internas con un grupo reducido de usuarios cercanos, lo que permitió iterar sobre la redacción de textos, la iconografía y el orden de ciertas preguntas.

---

<sup>34</sup> Los *wireframes* son esquemas simples que muestran la estructura y disposición de los elementos de una interfaz, sin detalles de diseño gráfico final.

<sup>35</sup> El enfoque *mobile-first* consiste en diseñar y estructurar inicialmente una interfaz pensando en dispositivos móviles y, a partir de ello, adaptarla progresivamente a pantallas de mayor tamaño.

<sup>36</sup> Los *tooltips* son pequeños recuadros de ayuda que aparecen al situar el cursor sobre un elemento o al pulsarlo, y que entregan información adicional o aclaraciones sin cambiar de pantalla.

<sup>37</sup> En diseño responsivo, los *breakpoints* son anchos específicos de pantalla a partir de los cuales se ajusta la disposición de los elementos (por ejemplo, en móvil, tablet o escritorio) para mantener una visualización adecuada

### 5.3.2 Fase 2: Implementación del motor de cálculo

La segunda fase se focalizó en transformar el modelo conceptual de emisiones, anteriormente presentado en el capítulo 4, en un motor de cálculo programado en lenguaje TypeScript, integrado dentro de la aplicación web.

#### 5.3.2.1 Desarrollo de la lógica de negocio y validación de datos

Metodológicamente, se definió un estado global de la calculadora que agrupa las respuestas del usuario en un único objeto estructurado. La lógica de cálculo se implementó en funciones puras que reciben el estado como entrada y devuelven las emisiones por categoría y el total en kilogramos de dióxido de carbono equivalente ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ).

Por consiguiente, se implementaron reglas de validación de datos en la capa de interfaz (evitar valores negativos, restringir rangos máximos razonables) y en la capa de cálculo (establecer supuestos explícitos cuando faltan datos). Además, se construyeron casos de prueba sintéticos, como “escenarios estándar de viaje”, para verificar la consistencia de los resultados con estimaciones manuales o de referencia.

Esta separación entre interfaz y lógica permite reutilizar el motor de cálculo en otros contextos (por ejemplo, una API o una aplicación móvil) sin modificar la estructura interna de la calculadora.

#### 5.3.2.2 Integración de matrices de distancia, factores de emisión y supuestos clave

- (i) **Matrices de distancia:** se construyó una matriz origen–destino entre comunas de origen representativas y puntos de acceso a la reserva de biósfera (p. ej. Concepción – Termas de Chillán, Chillán – Valle Las Trancas, etc.). Las distancias se obtuvieron a partir de herramientas cartográficas de uso público (p. ej. servicios de mapas en línea), y se redondearon a valores representativos para simplificar el cálculo. Finalmente, las matrices se almacenaron en estructuras de datos (por ejemplo, objetos o arreglos JSON), que son consultadas automáticamente por el motor de cálculo al seleccionar la comuna de origen y el medio de transporte.

- (ii) **Factores de emisión:** se seleccionaron factores de emisión por kilómetro para distintos tipos de vehículos (auto a gasolina, diésel, bus interurbano, van turística, etc.) y por noche de alojamiento y tipo de alimentación, privilegiando fuentes oficiales y/o utilizadas en programas de reporte de emisiones (p. ej. factores organizacionales de programas públicos y factores internacionales para transporte de pasajeros, cuando fue necesario complementar). Además, todos los factores se normalizaron a kgCO<sub>2e</sub> por unidad de actividad (p. ej. km, noche, kg de alimento), y se almacenaron en un módulo específico de configuración, separado de la lógica de cálculo, para facilitar futuras actualizaciones.
- (iii) **Supuestos clave:** se definieron supuestos explícitos sobre ocupación promedio de vehículos, intensidad energética de alojamientos, composición de dietas y otros parámetros necesarios cuando no se dispone de información individualizada. Estos supuestos se documentaron en un anexo metodológico y se reflejan en el código como constantes parametrizables, de modo que puedan ajustarse si se dispone de nuevos datos de la reserva de biósfera.

### 5.3.3 Fase 3: Desarrollo de componentes de gestión y reporte

La tercera fase abordó el desarrollo de componentes de gestión y reporte, en particular el *dashboard*<sup>38</sup> de resultados en tiempo real y la generación automatizada de reportes PDF con recomendaciones de mitigación.

#### 5.3.3.1 Construcción del dashboard de resultados en tiempo real

El *dashboard* de resultados se diseñó para:

- (i) Mostrar el total de emisiones de la visita en kgCO<sub>2e</sub>.
- (ii) Entregar un desglose visual por categoría mediante gráficos tipo dona y barras.
- (iii) Destacar la categoría de mayor contribución, generando mensajes orientativos para priorizar acciones de reducción.

---

<sup>38</sup> Se entiende por *dashboard* una pantalla de visualización que integra, en un solo lugar, indicadores y gráficos clave para facilitar la lectura y el seguimiento de resultados.

Se utilizó una biblioteca de gráficos para React (Recharts) y componentes que actualizan el *dashboard* en tiempo real a medida que el usuario modifica sus respuestas. Por otra parte, las equivalencias (árboles nativos) se calculan como relaciones aproximadas y se presentan explícitamente como referenciales.

#### **5.3.3.2 Generación automatizada de reportes PDF y recomendaciones de mitigación**

Para facilitar el uso de los resultados fuera de la plataforma, se incorporó un módulo de exportación a PDF mediante librería “jsPDF”<sup>39</sup> y “jspdf-autotable”. La estructura del reporte incluye un resumen, resultados numéricos y un conjunto de recomendaciones de mitigación personalizadas según el perfil de huella del visitante.

Cabe destacar que las recomendaciones se generan mediante reglas simples que vinculan la categoría con mayor impacto, por ejemplo, transporte o alojamiento, con un conjunto de acciones sugeridas (viajar en bus, compartir vehículo, reducir el uso de calefacción a leña, priorizar actividades de bajo impacto).

#### **5.3.4 Fase 4: Estrategia de validación con usuarios y monitoreo**

La fase final se orientó a comprobar la usabilidad, claridad y aceptación de la herramienta mediante técnicas cuantitativas y cualitativas: encuestas post-uso del sitio web, para recoger percepciones sobre facilidad de uso, comprensión de resultados e intención de modificar conductas. Junto con pruebas piloto de usabilidad, observando a usuarios mientras utilizan la herramienta en dispositivos móviles y de escritorio. También, focus groups con actores clave, esto para validar la pertinencia de los mensajes y de los supuestos utilizados. Finalmente, monitoreo analítico mediante herramientas de analítica web como la propia entregada por Vercel y mediante Google Analytics.

---

<sup>39</sup> jsPDF es una librería de JavaScript que permite generar archivos PDF directamente desde el navegador, a partir de contenidos como texto, tablas o gráficos de una aplicación web.

## Anexo G. Factores de emisión y supuestos por módulo (detalle)

### 6.5.2 Transporte de acceso a la Reserva

En el transporte de acceso al destino, la unidad fundamental de actividad son los kilómetros recorridos. Para cada combinación origen–destino se define una distancia de referencia de ida basada en trayectos típicos por carretera (por ejemplo, Chillán – San Fabián, Concepción – Valle Las Trancas, Santiago – Antuco, etc.). Estas distancias se organizan en una matriz origen–destino dentro del sistema. Cuando la ciudad de origen no se encuentra en la lista, el usuario puede introducir una distancia manual. En todos los casos, el modelo calcula automáticamente la distancia total del viaje como:

$$km_{totales} = 2 \times km_{ida}$$

Se adoptan factores promedio de emisión por km para diferentes tipos de vehículo (auto gasolina, diésel, híbrido, bus interurbano, avión), expresados en kgCO<sub>2</sub>e por pasajero-km. En vehículos eléctricos se utiliza un consumo específico en kWh/100 km y un factor de red eléctrica coherente con el Sistema Eléctrico Nacional. Asimismo, se considera la ocupación efectiva del vehículo: las emisiones totales del viaje se dividen por el número de pasajeros, reflejando el efecto de compartir el medio de transporte.

Para la opción combinada “avión + transporte terrestre” se modela el viaje como una fracción de la distancia en avión y otra en bus; 80 % de la distancia total se asocia a viaje en avión y 20 % se asocia a traslados terrestres (bus), típicamente entre aeropuerto y destino final.

De este modo, las emisiones por transporte de acceso en esta opción se calculan como:

$$Emisiones = 0,8 \cdot km_{totales} \cdot f_{avión} + 0,2 \cdot km_{totales} \cdot f_{bus}$$

donde  $f_{avión}$  y  $f_{bus}$  corresponden a los factores ya descritos.

Este esquema no pretende capturar todas las variaciones posibles de rutas y escalas, sino representar el orden de magnitud de un viaje típico que combina un tramo aéreo con transporte terrestre hacia la Reserva.

### 6.5.3 Transporte local

El módulo de transporte local cuantifica la huella asociada a desplazamientos internos (entre cabañas, centros de ski, senderos, etc.), distinguiendo kilómetros recorridos en medios motorizados convencionales (auto/camioneta, van/bus, motocicleta, cuatrimoto y otros) y horas de uso en equipos de alta potencia (moto de nieve, *snowcat*).

Se utilizan factores por kilómetro o por hora coherentes con consumos típicos para cada tipo de medio. Los desplazamientos a pie o en bicicleta se consideran de huella prácticamente nula en este módulo. Para el transporte origen–destino, por ejemplo, el dato de actividad se calcula como:

$$A_{transporte} = Distancia_{ida+vuelta} \times \frac{1}{número\ de\ pasajeros}$$

En el caso de automóviles (gasolina, diésel, híbrido, eléctrico), el modelo considera el número de pasajeros en el vehículo, incluyendo a la persona usuaria de la calculadora. Las emisiones se distribuyen por pasajero según:

$$Emisiones\ por\ persona = \frac{Emisiones\ totales\ del\ vehículo}{N^o_{pasajeros}}$$

Este supuesto es consistente con el enfoque de huella por persona y por viaje, y permite mostrar de manera explícita el efecto de compartir el auto en la disminución de la huella individual.

En el caso de vehículos eléctricos, el modelo no trabaja con un factor fijo por km, sino que utiliza un consumo energético específico (por defecto 17 kWh/100 km para un vehículo eléctrico mediano) y un factor de emisión de la red eléctrica chilena (0,35 kg CO<sub>2e</sub>/kWh como valor referencial), de acuerdo con inventarios del sistema eléctrico nacional. Así, las emisiones de un viaje en vehículo eléctrico se calculan como:

$$Emisiones = \frac{km_{totales} \cdot kWh/100km}{100} \times 0,35\ kg\ CO_{2e}/kWh$$

La ecuación general para el modo de transporte  $m$  es:

$$Emisiones\_transporte_m = Distancia_m (km) \times FE_m (kgCO_2e/km)$$

En el caso de vehículos particulares, la distancia por persona se obtiene dividiendo la distancia ida y vuelta entre el número de pasajeros; en transporte público (bus, avión) se utilizan factores de emisión expresados directamente por pasajero-kilómetro.

La suma de las emisiones de todos los modos arroja la huella total del módulo de transporte. Desde la perspectiva de diseño, esta desagregación permite identificar con claridad cuánto aporta, por ejemplo, el uso de automóvil particular frente al bus interurbano, entregando al visitante información útil para gestionar su impacto en viajes futuros (toma de decisiones).

#### **6.5.4 Alojamiento**

Para estimar las emisiones asociadas al módulo de alojamiento se utiliza un enfoque de factor de emisión promedio por noche de alojamiento, que integra tanto el tipo de establecimiento como el sistema de calefacción empleado. La unidad de cálculo es la noche-huésped, de modo que el resultado se expresa en kgCO<sub>2</sub>e por persona para toda la estadía.

En primer lugar, se define un factor base de energía por noche del establecimiento ( $F_{base}$ ), que recoge consumos típicos de electricidad y combustibles en distintos tipos de alojamientos (hotel, hostel, cabaña, camping). Este factor se construyó a partir de rangos de consumo energético reportados en la literatura para el sector hotelero y de hospedaje, expresados en kWh por noche y convertidos a kgCO<sub>2</sub>e mediante factores de emisión eléctricos y de combustibles válidos para Chile. En la práctica, los hoteles y establecimientos de mayor estándar tienden a presentar consumos específicos más altos que cabañas o campings, debido a mayores servicios ofrecidos, equipamiento y superficies climatizadas, lo que se refleja en un factor base superior.

Adicionalmente, se incorpora un factor específico de calefacción ( $F_{calef}$ ), que diferencia entre uso de leña, gas licuado de petróleo, diésel, electricidad o ausencia de calefacción significativa. Este término aproxima las emisiones derivadas del uso de artefactos de calefacción durante la estadía, considerando consumos típicos por noche y factores de emisión de cada combustible,

siguiendo criterios de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Con estos elementos, las emisiones de alojamiento asociadas a un viaje se calculan como:

$$E_{\text{alojamiento}} = \frac{(F_{\text{base}} + F_{\text{calef}}) \times N_{\text{noches}}}{N_{\text{huéspedes}}}$$

donde:

- $E_{\text{alojamiento}}$ : emisiones de alojamiento por persona para la visita (kgCO<sub>2</sub>e),
- $F_{\text{base}}$ : factor base de emisiones por noche de alojamiento completo (kgCO<sub>2</sub>e/noche-alojamiento),
- $F_{\text{calef}}$ : factor adicional por noche asociado al tipo de calefacción utilizada (kgCO<sub>2</sub>e/noche-alojamiento),
- $N_{\text{noches}}$ : número total de noches de estadía,
- $N_{\text{huéspedes}}$ : número de personas que comparten la habitación o cabaña.

En la implementación computacional, el modelo asigna valores específicos a  $F_{\text{base}}$  según el tipo de alojamiento seleccionado por la persona usuaria (hotel, hostel, cabaña o camping) y a  $F_{\text{calef}}$  según el sistema de calefacción declarado (leña, gas, diésel, electricidad o sin calefacción). El producto  $(F_{\text{base}} + F_{\text{calef}}) \times N_{\text{noches}}$  representa las emisiones totales del alojamiento para la estadía completa (a nivel de habitación o unidad), mientras que la división por  $N_{\text{huéspedes}}$  reparte ese impacto entre las personas que comparten el espacio, obteniendo así la huella individual de alojamiento.

De este modo, el modelo muestra con claridad que alojarse en instalaciones más intensivas en energía (por ejemplo, hoteles calefaccionados con combustibles fósiles) genera una mayor huella por noche, mientras que compartir habitación o cabaña permite distribuir el impacto entre más personas, reduciendo con ello las emisiones generadas por huésped. Esta estructura también facilita la comparación entre alternativas de alojamiento y configuraciones de calefacción dentro de la misma estadía o entre distintos viajes.

### 6.5.5 Alimentación

La huella alimentaria se modela en función del formato de consumo. Primero, se asigna un factor diario base de huella alimentaria, en kg CO<sub>2</sub>e/día-persona: Para restaurantes locales del orden de 4,0 kg CO<sub>2</sub>e/día, considerando menús típicos mixtos. Seguido de cadenas externas con un orden de 4,5 kg CO<sub>2</sub>e/día, incorporando la mayor intensidad asociada a cadenas y productos más procesados. Autoabastecido con 3,5 kg CO<sub>2</sub>e/día, asumiendo un menor procesamiento y una selección algo más eficiente.

Segundo, se aplica un factor multiplicador según tipo de dieta: Alta en carne roja (vacuno casi todos los días): multiplicador 1,5, reflejando que la literatura reporta huellas significativamente mayores para dietas muy carnívoras; Mixta (algo de carne roja y algo sin carne): multiplicador 1,0, utilizado como referencia; Mayormente sin carne roja / vegetariana: multiplicador 0,8, coherente con reducciones reportadas al disminuir la carne roja; Vegetariana/vegana (sin carne): multiplicador 0,6, asociado a dietas con fuerte predominio de proteínas vegetales.

La literatura de análisis de ciclo de vida de alimentos indica que dietas ricas en carne roja pueden duplicar o triplicar la huella diaria respecto de dietas principalmente vegetales; el modelo traduce esta evidencia en coeficientes prácticos orientados a la comparación entre opciones.

Adicionalmente, si la persona declara que prioriza productos locales, se incorpora un ajuste negativo moderado de -0,5 kg CO<sub>2</sub>e/día, que representa una disminución aproximada de emisiones asociadas a menores distancias de transporte de los alimentos y al apoyo a circuitos cortos de abastecimiento.

Las emisiones totales del módulo se calculan como:

$$\begin{aligned} & \textit{Emisión alimentación} \\ &= (\textit{Factor base por día} \pm \textit{ajuste productos locales}) \\ &\times n^{\circ} \textit{ de días de visita} \times \textit{Factor de dieta} \end{aligned}$$

donde el número de días de alimentación se aproxima a partir del número de noches de alojamiento.

El propósito de este módulo no es estimar la huella exacta de la dieta de cada persona, sino dejar en evidencia el peso relativo de la carne roja en comparación con otras opciones de alimentación, y cómo las decisiones de compra (local vs. cadenas externas) inciden en la huella del viaje.

#### **6.5.6 Actividades turísticas**

El módulo de actividades estima la huella asociada a distintas actividades realizadas durante la visita, por ejemplo: ski/snowboard, trekking, cabalgatas, ciclismo/MTB, raquetas, canopy, moto de nieve, motocross/enduro u otras.

Para este módulo se utilizan factores de emisión por hora en kg CO<sub>2</sub>e/h, distinguiendo entre actividades de alta intensidad energética (moto de nieve, *snowcat*) con consumos energéticos de infraestructura y logística (andariveles, vehículos de apoyo, etc.), como también, actividades de bajo impacto directo (trekking, MTB, raquetas), donde las emisiones directas son muy bajas o nulas y se concentran en otros módulos (transporte, alimentación).

Los factores se sitúan en órdenes de magnitud coherentes con la literatura: por ejemplo, un valor del orden de 2–3 kg CO<sub>2</sub>e/h para ski/snowboard (asociado al uso de andariveles y servicios del centro invernal) y valores significativamente menores para actividades no motorizadas como el trekking.

Para el caso de actividades motorizadas recreativas (moto de nieve, motocross/enduro u otras), se adoptan factores por hora de un orden más elevado, basados en consumos típicos de combustible de estos vehículos y factores de emisión IPCC para gasolina o diésel. Esto permite que el modelo refleje la fuerte dualidad entre un día, por ejemplo, centrado en trekking y en uno centrado en actividades motorizadas.

En paralelo, cuando el usuario seleccione “Otro”, se utiliza un factor promedio asociado a actividades de intensidad similar, de manera de representar la huella sin subestimarla, pese a la falta de detalle específico. Es por ello que cada actividad seleccionada requiere que el visitante indique una duración aproximada en horas. Así, el sistema traduce esa duración en un dato de actividad y lo multiplica por un factor de emisión específico.

La ecuación general para una actividad  $k$  es:

$$Emisiones\_actividad_k = Horas_k \times FE_k$$

El módulo de actividades turísticas utiliza las horas declaradas para cada actividad (por ejemplo, ski, trekking, MTB, moto de nieve, motocross, “otro”) y los factores de emisión  $F\_ACT$  asociados a cada tipo de actividad.

De forma general:

$$act = H_{Ski} \times F_{ski} + H_{Trekking} \times F_{trekking} + \dots + H_{Otro} \times F_{otro}$$

donde  $H_{actividad}$  corresponde a las horas declaradas en cada actividad. De este modo se diferencian explícitamente las actividades de bajo impacto (como trekking, MTB o raquetas de nieve) de otras de mayor intensidad energética y de emisiones (como moto de nieve o motocross), permitiendo un análisis comparativo del impacto de la oferta de actividades.

Las actividades recreativas constituyen un componente central de la experiencia turística en la reserva de biósfera. La literatura sobre turismo y cambio climático muestra que las actividades de alta intensidad energética pueden representar una fracción significativa de la huella total en destinos de nieve y montaña, especialmente cuando se incluyen remotes mecánicos, equipamiento y transporte asociado (Kerimray, 2025). El modelo desarrollado incorpora estos elementos de manera simplificada, con el objetivo de mantener la herramienta comprensible para el público general.

### 6.5.7 Residuos y uso de agua

El módulo de residuos y uso de agua incorpora un componente de conducta ambiental que, si bien en perspectiva de términos absolutos representa menos emisiones que otras categorías como transporte o alojamiento, sin embargo, resulta igualmente relevante desde la perspectiva de la gestión local y de la percepción del área en conservación.

Se trabaja con un índice diario compuesto por la estrategia de manejo de residuos, con niveles que van desde: “Separé y reciclé” (valor bajo), “Me los llevé de regreso” (valor muy bajo, al

desplazar la gestión fuera del área protegida), hasta “Basureros comunes” u “Otro” (valores más altos, por mayor probabilidad de disposición final en vertederos o infraestructura precaria). Junto con un componente asociado al consumo de agua diaria, con niveles “bajo”, “promedio” y “alto”, que integran el efecto de duchas extensas, uso de agua caliente y otros hábitos. Ambos componentes se expresan mediante factores simplificados en kg CO<sub>2</sub>e/día-persona, en un rango acotado (entre 0,1 y 0,9 kg CO<sub>2</sub>e/día), y se suman para obtener un índice base diario.

Adicionalmente, se incorpora un factor de ajuste por uso de botellas y envases de bebidas, que aumenta las emisiones cuando el visitante declara “muchas botellas plásticas desechables” y las reduce cuando declara uso mayoritario de botellas reutilizables o termos. Este ajuste se implementa mediante un multiplicador moderado (1,3 para uso intensivo de desechables y 0,8 cuando predomina el uso de envases reutilizables).

A partir de estas elecciones se definen un factor de manejo de residuos (*Fres*), un factor de agua (*Fagua*) y un multiplicador asociado Al uso de botellas (*factorBotellas*). La huella conjunta se calcula como:

$$E_{res/gua} = (Fres + Fagua) \times N^{\circ} \text{ dias Visita} \times \text{factor uso Botellas}$$

Dado que los factores se derivan de reglas de dedo y literatura general sobre residuos y consumo hídrico, este módulo se interpreta explícitamente como un indicador de buenas o malas prácticas más que como un inventario detallado de residuos sólidos o uso de agua.

### **6.5.8 Equivalencias comunicacionales (árboles nativos)**

Para facilitar la interpretación, la calculadora traduce el resultado total en una equivalencia de árboles nativos, asumiendo que un árbol en crecimiento captura en promedio del orden de 20 kgCO<sub>2</sub>e por año. A partir de este valor se estima: cuántos años de captura requiere un árbol nativo para compensar la huella del viaje, y cuántos se requerirán para compensarla en un año. Se debe enfatizar que estos mensajes corresponden a equivalencias pedagógicas y de concientización, no de compromisos formales de compensación.

## Tablas de factores de emisiones utilizados en plataforma digital

A continuación, se muestran las tablas (por módulo/paso) con todos los factores de emisión (y multiplicadores) que se utilizan en el código, con variable, valor, unidad y cómo entra en el cálculo.

### 1. Módulo Transporte (ida/regreso)

Tabla 5. Factores de emisión utilizados en Módulo Transporte (ida/regreso)

| Variable (código)                                   | Valor | Unidad                                     | Se usa en            | Cómo se aplica                                                                                         |
|-----------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>F_TRANSP.auto_gasolina</b>                       | 0.21  | kg CO <sub>2</sub> e /<br>km<br>(vehículo) | Auto<br>gasolina     | $llegarKg = (kmTotal * 0.21) /$<br>$pasajeros\_auto$                                                   |
| <b>F_TRANSP.auto_diesel</b>                         | 0.23  | kg CO <sub>2</sub> e /<br>km<br>(vehículo) | Auto diésel          | $llegarKg = (kmTotal * 0.23) /$<br>$pasajeros\_auto$                                                   |
| <b>F_TRANSP.auto_hibrido</b>                        | 0.11  | kg CO <sub>2</sub> e /<br>km<br>(vehículo) | Auto<br>híbrido      | $llegarKg = (kmTotal * 0.11) /$<br>$pasajeros\_auto$                                                   |
| <b>st.transporte.consumo_e_kwh_100</b><br>(default) | 17    | kWh / 100<br>km                            | Auto<br>eléctrico    | $kwh = (kmTotal *$<br>$consumo)/100$                                                                   |
| <b>F_TRANSP.grid</b>                                | 0.35  | kg CO <sub>2</sub> e /<br>kWh              | Auto<br>eléctrico    | $llegarKg = (kwh *$<br>$0.35)/pasajeros\_auto$                                                         |
| <b>F_TRANSP.bus</b>                                 | 0.04  | kg CO <sub>2</sub> e /<br>km<br>(persona)  | Bus<br>interurbano   | $llegarKg = kmTotal * 0.04$                                                                            |
| <b>F_TRANSP.avion</b>                               | 0.279 | kg CO <sub>2</sub> e /<br>km               | Avión +<br>terrestre | $km\_avion=kmTotal*0.8,$<br>$km\_bus=kmTotal*0.2 \Rightarrow$<br>$km\_avion*0.279 +$<br>$km\_bus*0.04$ |
| <b>F_TRANSP.otro (en switch)</b>                    | 0.15  | kg CO <sub>2</sub> e /<br>km               | “Otro”               | $llegarKg = kmTotal * 0.15$                                                                            |

Fuente: Elaboración Propia

## 2. Módulo Transporte (local dentro del destino)

Tabla 6. Factores de emisión utilizados en Módulo Transporte (local dentro del destino)

| Variable (código)                                    | Valor | Unidad                      | Medio local           | Cómo se aplica                                    |
|------------------------------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
| <b>F_TRANSP.auto_local</b>                           | 0.21  | kg CO <sub>2</sub> e / km   | Auto/camioneta propia | localKg += km * 0.21                              |
| <b>F_TRANSP.van_local</b>                            | 0.10  | kg CO <sub>2</sub> e / km   | Traslado en van/bus   | localKg += km * 0.10                              |
| <b>F_TRANSP.motocicleta_verano</b>                   | 0.14  | kg CO <sub>2</sub> e / km   | Motocicleta (verano)  | localKg += km * 0.14                              |
| <b>F_TRANSP.cuatrimoto_verano</b>                    | 0.24  | kg CO <sub>2</sub> e / km   | Cuatrimoto (verano)   | localKg += km * 0.24                              |
| <b>F_TRANSP.moto_nieve_h</b>                         | 26.0  | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Moto de nieve         | localKg += horas * 26.0                           |
| <b>F_TRANSP.snowcat_h</b>                            | 48.0  | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Snowcat/andarivel     | localKg += horas * 48.0                           |
| <b>F_TRANSP.otro</b>                                 | 0.15  | kg CO <sub>2</sub> e / km   | Otro                  | localKg += km * 0.15                              |
| <b>TRANSP_LOCAL_CONFIG["A pie/bicicleta"].esCero</b> | true  | —                           | A pie/bicicleta       | No se solicita km/horas y no suma CO <sub>2</sub> |

Fuente: Elaboración Propia

## 3. Módulo Alojamiento

Tabla 7. Factores de emisión utilizados en Módulo Alojamiento

| Variable (código)          | Valor | Unidad                       | Se usa en                | Cómo se aplica |
|----------------------------|-------|------------------------------|--------------------------|----------------|
| <b>F_ALOJA.hotel</b>       | 18.0  | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Tipo “Hotel”             | alojBase=18.0  |
| <b>F_ALOJA.hostal</b>      | 12.0  | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Tipo “Hostal”            | alojBase=12.0  |
| <b>F_ALOJA.cabana</b>      | 8.0   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Tipo “Cabaña”            | alojBase=8.0   |
| <b>F_ALOJA.camping</b>     | 3.0   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Tipo “Camping”           | alojBase=3.0   |
| <b>F_ALOJA.cal.lena</b>    | 3.0   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Calefacción Leña         | cal=3.0        |
| <b>F_ALOJA.cal.gas</b>     | 2.0   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Calefacción Gas          | cal=2.0        |
| <b>F_ALOJA.cal.diesel</b>  | 3.5   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Calefacción Diésel       | cal=3.5        |
| <b>F_ALOJA.cal.elec</b>    | 1.5   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Calefacción Electricidad | cal=1.5        |
| <b>F_ALOJA.cal.ninguna</b> | 0.5   | kg CO <sub>2</sub> e / noche | Sin calefacción          | cal=0.5        |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4. Módulo Alimentación

Tabla 8. Factores de emisión utilizados en Módulo Alimentación

| Variable (código)                              | Valor | Unidad                             | Se usa en            | Cómo se aplica                                     |
|------------------------------------------------|-------|------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|
| <b>F_ALIM.locales</b>                          | 4.0   | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Restaurantes locales | alim=4.0                                           |
| <b>F_ALIM.cadenas</b>                          | 4.5   | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Cadenas externas     | alim=4.5                                           |
| <b>F_ALIM.auto</b>                             | 3.5   | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Autoabastecido       | alim=3.5                                           |
| <b>F_ALIM.bonus_local</b>                      | -0.5  | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Productos locales    | Se suma como “descuento” si productos locales=true |
| <b>factorDieta (alta carne roja)</b>           | 1.5   | —                                  | Dieta                | Multiplica toda la huella alimentaria              |
| <b>factorDieta (mixta)</b>                     | 1.0   | —                                  | Dieta                | Multiplica toda la huella alimentaria              |
| <b>factorDieta (mayormente sin carne roja)</b> | 0.8   | —                                  | Dieta                | Multiplica toda la huella alimentaria              |
| <b>factorDieta (veg/vegana)</b>                | 0.6   | —                                  | Dieta                | Multiplica toda la huella alimentaria              |

Fuente: Elaboración Propia

#### 5. Módulo Actividades

Tabla 9. Factores de emisión utilizados en Módulo Actividades

| Variable (código)         | Valor | Unidad                      | Actividad        | Cómo se aplica |
|---------------------------|-------|-----------------------------|------------------|----------------|
| <b>F_ACT.ski</b>          | 2.5   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Ski/Snowboard    | horas * 2.5    |
| <b>F_ACT.trekking</b>     | 0.3   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Trekking         | horas * 0.3    |
| <b>F_ACT.cabalgata</b>    | 1.0   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Cabalgata        | horas * 1.0    |
| <b>F_ACT.mtb</b>          | 0.6   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Ciclismo/MTB     | horas * 0.6    |
| <b>F_ACT.raquetas</b>     | 0.4   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Raquetas         | horas * 0.4    |
| <b>F_ACT.canopy</b>       | 0.8   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Canopy           | horas * 0.8    |
| <b>F_ACT.moto</b>         | 26.0  | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Moto de nieve    | horas * 26.0   |
| <b>F_ACT.moto_deporte</b> | 4.0   | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Motocross/enduro | horas * 4.0    |
| <b>F_ACT.otro</b>         | 0.15  | kg CO <sub>2</sub> e / hora | Otro             | horas * 0.15   |

Fuente: Elaboración Propia

## 6. Módulo Residuos y agua

Tabla 10. Factores de emisión utilizados en Módulo Residuos y agua

|                                              |     |                                    |                         |                       |
|----------------------------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>F_RES.manejo.sep</b>                      | 0.2 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Separé y reciclé        | res=0.2               |
| <b>F_RES.manejo.comunes</b>                  | 0.6 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Basureros comunes       | res=0.6               |
| <b>F_RES.manejo.regreso</b>                  | 0.1 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Me los llevé de regreso | res=0.1               |
| <b>F_RES.manejo.otro</b>                     | 0.5 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Otro                    | res=0.5               |
| <b>F_RES.agua.prom</b>                       | 0.5 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Promedio                | agua=0.5              |
| <b>F_RES.agua.bajo</b>                       | 0.2 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Bajo                    | agua=0.2              |
| <b>F_RES.agua.alto</b>                       | 0.9 | kg CO <sub>2</sub> e / día-persona | Alto                    | agua=0.9              |
| <b>factorBotellas (muchas desechables)</b>   | 1.3 | —                                  | Botellas                | Multiplica (res+agua) |
| <b>factorBotellas (mezcla)</b>               | 1.0 | —                                  | Botellas                | Multiplica (res+agua) |
| <b>factorBotellas (mayoría reutilizable)</b> | 0.8 | —                                  | Botellas                | Multiplica (res+agua) |

Fuente: Elaboración Propia

## 7. Módulo Resultado (equivalencias)

Tabla 11. Factores de emisión utilizados en Módulo Resultado (equivalencias)

| Variable (código)        | Valor | Unidad                         | Se usa para               | Cómo se aplica                                  |
|--------------------------|-------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>kgPorArbolPorAnio</b> | 20    | kg CO <sub>2</sub> / árbol·año | Equivalencia de absorción | anios = totalKg/20, arboles = round(totalKg/20) |

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo H. Interfaz, visualización de resultados y analítica (detalle)

### 6.7.1 Flujo del usuario

El flujo se diseñó bajo el patrón de asistente paso a paso (*wizard*) que acompaña al visitante en un proceso guiado, desde una pantalla introductoria hasta la visualización de resultados y recomendaciones. Desde el punto de vista metodológico, se buscó que cada paso correspondiera a una unidad lógica del viaje (identificación, transporte, alojamiento, alimentación, actividades, residuos/agua y resultados), de modo que el usuario reconozca fácilmente qué información se le solicita y por qué es relevante para el cálculo de su huella.

El recorrido inicia en una tarjeta introductoria, donde se presenta brevemente la función de la calculadora y su relación con la reserva de biósfera. En esta etapa no se solicita todavía información cuantitativa; el foco está en contextualizar, explicar que el cálculo es una estimación y motivar al usuario a completar el proceso y así obtener retroalimentación. A continuación, el flujo conduce al módulo de identificación, donde se recogen datos esenciales del viaje: origen principal, destino dentro de la reserva, número de personas, motivo de la visita y duración. Esta información inicial habilita una parametrización básica del cálculo y permite adaptar elementos posteriores (por ejemplo, mensajes de resultados o recomendaciones).

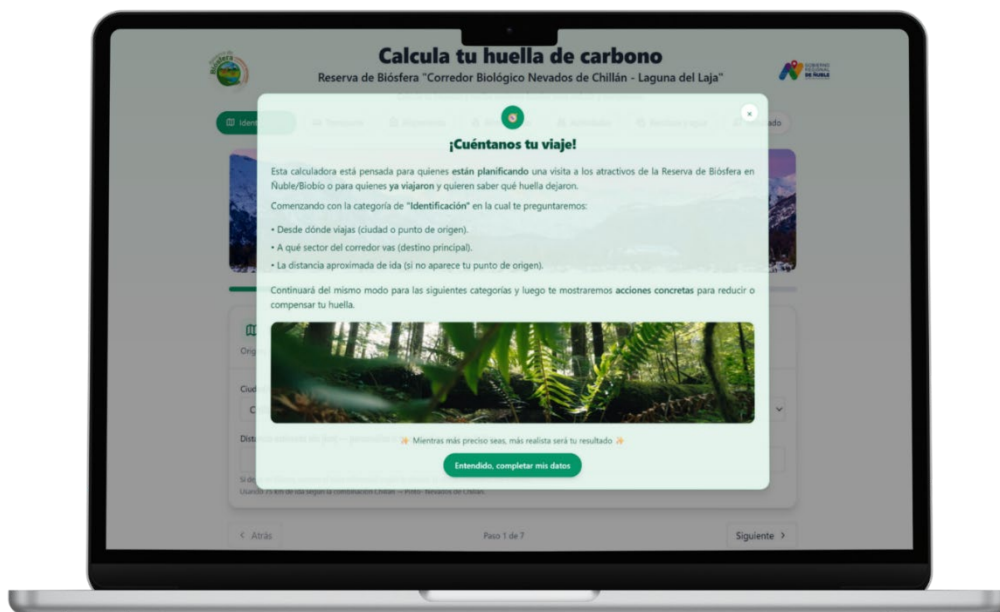


Figura 8. Captura de pantalla de tarjeta introductoria al sitio web visualizado en portátil.  
Fuente: Elaboración Propia

En los siguientes pasos, el usuario avanza por los módulos temáticos de captura de datos: transporte, alojamiento, alimentación, actividades y residuos/agua. En cada uno, la navegación se mantiene consistente: se presenta un título claro, un breve texto explicativo y controles específicos para ingresar distancias, noches, horas o elecciones de manejo de residuos. El flujo está diseñado para que los datos solicitados se basen en la información previamente proporcionada; por ejemplo, el número de noches de alojamiento se asocia a la duración de la visita declarada, y el transporte local se declara sólo si se indicó que se realizarán desplazamientos internos adicionales. De esta forma se evita solicitar información redundante y se reduce la sensación de “formulario extenso”.

El usuario dispone permanentemente de controles tipo “botón” de avance y retroceso (atrás / siguiente), lo que le permite corregir o ajustar información sin perder datos previos. Internamente, el estado del viaje se conserva entre pasos, de modo que al volver hacia atrás el usuario encuentra sus respuestas anteriores intactas. Además, se incluye un indicador de progreso, por ejemplo, “Paso X de Y”, que ayuda a gestionar las expectativas respecto a la duración del proceso y refuerza la idea de que existe un final claro donde se entregarán los esperados resultados.

El flujo culmina en el módulo de resultados, donde se presenta la estimación de la huella de carbono total y su desglose por categoría. En esta etapa, el usuario no aporta más datos, sino que interpreta la información generada por el sistema. Se ofrecen equivalencias pedagógicas y recomendaciones personalizadas, así como la opción de descargar el reporte personalizado de sus emisiones en formato PDF. De este modo, el flujo puede entenderse como una curva de esfuerzo–recompensa<sup>40</sup>, debido a que en el inicio se solicita la información de manera gradual y en el final se entrega un resultado visualmente atractivo, acompañado de acciones concretas, lo que contribuye a la percepción de aporte real de la herramienta.

### **6.7.2 Diseño de UI/UX**

El diseño de la interfaz de usuario (UI) y de la experiencia de usuario (UX) se abordó con el objetivo de conseguir una herramienta intuitiva, visualmente coherente con la identidad de la

---

<sup>40</sup> Se entiende por curva de esfuerzo–recompensa la relación entre el esfuerzo que debe realizar el usuario (por ejemplo, tiempo o cantidad de datos ingresados) y los beneficios que obtiene a cambio, ya sea en forma de información, retroalimentación o utilidades de la herramienta.

Reserva y accesible en dispositivos móviles. Adoptando un enfoque centrado en el usuario, priorizando la claridad de los textos, la jerarquía visual y la reducción de elementos distractores en cada pantalla.

En términos de UI, se definió una paleta cromática basada en tonos verdes y azules suaves, asociando estos colores a la naturaleza, los bosques y el agua, elementos distintivos del Corredor Biológico. Los componentes principales (botones de navegación, tarjetas de resumen, gráficos) mantienen una estética homogénea y se evita el uso de elementos que saturen y recargados. La tipografía se seleccionó privilegiando fuentes legibles, con suficiente contraste entre texto y fondo para facilitar la lectura en interiores y exteriores, por ejemplo, bajo luz solar intensa, condición frecuente en la visita de algún destino de la reserva de biósfera.

Desde la perspectiva de UX, se hizo énfasis en tres aspectos: simplificación, consistencia y retroalimentación inmediata. La simplificación se concreta al evitar tecnicismos innecesarios en las preguntas y al agrupar las decisiones complejas en pasos separados; por ejemplo, el transporte se aborda en sub-bloques (viaje principal origen–destino, transporte local, actividades motorizadas) en lugar de pedir toda la información de desplazamientos en un solo formulario extenso. En paralelo, la consistencia se garantiza utilizando patrones repetidos de interacción (por ejemplo, mismo estilo de tarjetas para las categorías de emisiones, misma ubicación de botones de avanzar y retroceder en todas las pantallas).

En cuanto a la retroalimentación, el sitio web entrega señales visuales inmediatas ante las acciones del usuario: los botones cambian de estado al ser presionados y el gráfico de resultados se actualiza de forma coherente con los datos ingresados. En el módulo de resultados, se incorpora además una experiencia más rica mediante animaciones suaves y elementos de refuerzo positivo, por ejemplo, indicadores de compromiso cuando el usuario explora o selecciona acciones de mitigación, con el fin de transformar el cálculo de la huella en un momento de reflexión y aprendizaje.

Finalmente, el diseño de la UI/UX considera explícitamente el uso en dispositivos móviles y apertura facilitada mediante códigos QR que pueden estar disponibles tanto en centros de información como en múltiples puntos clave dentro de la reserva de biósfera. La interfaz responde automáticamente al ancho de la pantalla, reorganizando columnas en filas verticales y

ampliando los elementos táctiles para facilitar su uso al hacer scroll.<sup>41</sup> Esto permite que visitantes accedan a la herramienta durante la planificación previa al viaje (desde un PC/notebook) y también en terreno (desde un teléfono inteligente), manteniendo una experiencia consistente y sin necesidad de instalar aplicaciones adicionales.

### **6.7.3 Catálogo de acciones sugeridas por categoría de emisiones**

El sistema de recomendaciones de la calculadora se organiza en torno a las mismas categorías utilizadas para el cálculo de la huella (transporte ida/regreso, transporte local, alojamiento, alimentación, actividades y residuos/agua). Para cada una de ellas se definió un conjunto de acciones sugeridas, pensadas para que el visitante expanda sus miramientos con acciones concretas que pueda aplicar en futuras visitas. La calculadora identifica cuál de las categorías mencionadas concentra la mayor parte de las emisiones del viaje y, en función de ello, prioriza las acciones asociadas a ese ámbito, sin impedir que el usuario explore recomendaciones de las demás categorías.

En “transporte ida/regreso” se agrupan acciones orientadas a reducir el impacto del desplazamiento principal hacia la reserva de biósfera, tales como compartir el automóvil con más personas, preferir bus o tren frente al vehículo particular, combinar distintas formas de transporte público y planificar estadías algo más largas, pero menos frecuentes en el año.

En el caso de la categoría de “transporte local” se incluyen medidas para disminuir los desplazamientos internos en automóvil, promover el uso de caminatas y bicicleta, elegir actividades cercanas al alojamiento y organizar las salidas diarias de manera de evitar viajes redundantes.

Para “alojamiento”, las acciones se enfocan en el uso eficiente de la energía y la calefacción: ajustar la temperatura de los sistemas de climatización, ventilar de forma adecuada, apagar luces

---

<sup>41</sup> Se utiliza el término *scroll* para referirse al desplazamiento vertical u horizontal dentro de una página o pantalla para visualizar contenido que no cabe completo a la vista.

y equipos cuando no se utilizan, y preferir establecimientos que declaren prácticas ambientales o uso de energías renovables.

En “alimentación”, las recomendaciones apuntan a aumentar la proporción de comidas de origen vegetal, privilegiar productos locales y de temporada, reducir el desperdicio de alimentos y optar por envases retornables o reutilizables cuando sea posible.

En el ámbito de “actividades”, el catálogo sugiere priorizar experiencias no motorizadas (senderismo, observación de flora y fauna, fotografía de naturaleza) frente a alternativas intensivas en combustibles fósiles, así como elegir operadores que limiten el tamaño de los grupos y que cuenten con prácticas de bajo impacto.

Finalmente, para “residuos y agua” se proponen acciones como llevar de regreso la propia basura, reducir el uso de plásticos de un solo uso, utilizar botellas y contenedores reutilizables, separar residuos donde existan puntos limpios y moderar el consumo de agua en duchas y lavamanos.

En resumen, cada acción se presenta inicialmente como una tarjeta resumida con un título breve, un ícono y una indicación del impacto relativo esperado. Al seleccionarla, se despliega una tarjeta ampliada donde se explica por qué la medida es relevante en la Reserva, qué puede hacerse antes, durante y después del viaje, y se ofrece un pequeño control para que la persona usuaria exprese su nivel de compromiso con esa acción para una próxima visita. De este modo, el catálogo de acciones sugeridas no sólo complementa el resultado numérico de la huella, sino que lo traduce en un repertorio de cambios comportamentales concretos, alineados con los principios de educación ambiental y mejora continua del destino.

#### **6.7.4 Gráficos de distribución de la huella y desglose por categoría**

El módulo de resultados se organiza en tres paneles principales:

1. **Gráfico de distribución tipo dona:** muestra la huella total de la visita en kg CO<sub>2</sub>e en el centro y, alrededor, la participación relativa de cada categoría (transporte ida/regreso, transporte local, alojamiento, alimentación, actividades, residuos/agua). Cada segmento se representa con un color distintivo, manteniendo consistencia con los colores utilizados en

los módulos de entrada. Al pasar el cursor sobre un segmento (en escritorio) o al seleccionarlo (en móvil), se despliega un pequeño recuadro con el valor absoluto y el porcentaje que representa dicha categoría.

2. **Lista de desglose detallado:** bajo el gráfico principal, se despliega una lista ordenada que repite las categorías en filas, mostrando para cada una el valor en kg CO<sub>2</sub>e y su porcentaje sobre el total. Esta lista permite al usuario identificar de un vistazo cuál es la categoría que más contribuye a su huella y sirve de base para priorizar acciones de mejora.
3. **Resumen de la huella estimada:** destacando como recuadro principal se muestra la huella total estimada, la clasificación cualitativa del impacto (por ejemplo, impacto bajo/medio/alto según rangos predefinidos) y un conjunto de etiquetas que recuerdan los principales parámetros del viaje (origen, destino, distancia de referencia). Esta contextualización ayuda al usuario a relacionar dichas cifras con su experiencia concreta de viaje.

Este diseño responde a recomendaciones de usabilidad para formularios multi-paso y visualización progresiva de información, que sugieren dividir tareas complejas en pasos claros y presentar los resultados de forma jerárquica y visualmente atractiva.

#### **6.7.5 Equivalencias pedagógicas y mensajes de educación ambiental**

Con la finalidad de facilitar la interpretación de la huella de carbono por parte de personas sin una formación especializada, se incorporan equivalencias pedagógicas que traducen el resultado numérico a dimensiones más familiares. En particular, se comunica cuántos árboles nativos serían necesarios para absorber la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida durante la visita, y durante cuántos años deberían crecer para lograrlo. Estas equivalencias se construyen utilizando tasas promedio de captura de carbono por árbol al año, tomadas de estudios de reforestación y restauración de bosques templados.

Además, el sistema presenta un conjunto de acciones sugeridas priorizadas según la categoría que más contribuye a la huella del viaje. Por ejemplo, si el transporte de larga distancia explica la mayor parte de las emisiones, se destacan acciones como “comparte el auto”, “prefiere bus o tren” o “elige rutas más cercanas”.

Al brindar este enfoque, se busca combinar la entrega de información cuantitativa con elementos de motivación y cambio de conducta, en línea con la evidencia que sugiere que las personas

responden mejor a mensajes concretos y contextualizados que a cifras abstractas de emisiones (Wynes S, 2017). La herramienta se concibe así no sólo como una calculadora más de huella de carbono, sino como un dispositivo educativo que contribuye a la gestión sustentable del destino.

### 6.7.6 Integración de analítica de uso y eventos de interacción

Para transformar la calculadora en una herramienta de control de gestión, se integró un módulo de analítica mediante eventos personalizados (*trackEvent*) que son enviados a la plataforma Google Analytics. Estos eventos permiten medir no solo cuántas personas usan la herramienta, sino cómo la usan y en qué puntos del flujo se generan fricciones.

Es así como se “disparan” cuando el usuario completa determinadas acciones tales como: Inicio de uso de la calculadora (sesiones iniciadas), finalización de un cálculo completo (cálculos exitosos), descarga de reporte PDF, visualización o interacción con recomendaciones de mitigación, y uso de la herramienta por tipo de dispositivo (móvil, escritorio). En la implementación actual se definen, entre otros, los siguientes eventos principales:

Tabla 12. Principales eventos en uso de analítica.

| Evento (código)    | Momento de disparo                                       | Variables principales asociadas               | Uso como KPI de gestión                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| calculator_start   | Usuario presiona “Comenzar ahora” en la portada          | origen_inicial, destino_inicial               | Tasa de inicio de uso de la calculadora                      |
| step_back          | Usuario presiona botón “Atrás” en cualquier paso         | paso_actual                                   | Detección de pasos con mayor fricción o confusión            |
| calculator_submit  | Usuario pasa del paso 5 al 6 (llega a Resultados)        | origen, destino, km_ida, noches, dias_estadia | Tasa de finalización del flujo (conversión)                  |
| calculator_success | Cálculo final exitoso, huella ya estimada                | totalKg, totalTons, mayor_categoria           | Distribución de huellas individuales y categorías críticas   |
| pdf_export         | Usuario exporta el reporte en PDF                        | origen, destino, totalKg, mayor_categoria     | Nivel de adopción de la herramienta como evidencia formal    |
| calculator_reset   | Usuario inicia un “Nuevo viaje”                          | –                                             | Uso repetido / sesiones múltiples por usuario                |
| perfil_info_toggle | Usuario abre/cierra la tarjeta de simbología de “Perfil” | abierto, totalKg                              | Interacción con ayudas pedagógicas y comprensión de impactos |

Fuente: Elaboración Propia

Los datos se recopilan de manera agregada y anonimizada, respetando principios de minimización de datos y transparencia.

Los datos se recopilan de manera agregada y anonimizada, respetando principios de minimización de datos y transparencia.

#### **6.7.7 Mecanismos de descarga de reportes PDF y diseño del documento**

Un elemento distintivo de la plataforma es la posibilidad de descargar un reporte en formato PDF con el resumen de la huella estimada de la visita y las principales acciones sugeridas. Esta funcionalidad persigue dos objetivos: por una parte, entregar al visitante un material fácilmente archivable y compartible, por ejemplo, mediante correo o redes sociales, y por otra, reforzar el carácter educativo y concientizador de la experiencia, al dejar un registro tangible de la magnitud de las emisiones y de las alternativas para reducirlas.

El reporte PDF reproduce la lógica de la vista de resultados: incluye el total de la huella, el desglose por categoría, equivalencias pedagógicas y acciones sugeridas, todo ello con la identidad visual de la reserva de biósfera. Además, la generación se realiza por parte del cliente, lo que evita enviar datos a servidores externos y refuerza la protección de la privacidad.

## **Anexo I. Resultados del proceso de desarrollo (detalle)**

### **7.3.1 Desafíos encontrados**

Durante el proceso de diseño e implementación se identificaron diversos desafíos técnicos y conceptuales, entre ellos se puede destacar el conseguir una buena coherencia entre factores de emisión y lenguaje de interfaz. Para esto fue necesario ajustar textos y ejemplos, así asegurar que la explicación al usuario coincidiera con los supuestos de cálculo, por ejemplo, diferenciar claramente entre transporte ida/regreso y transporte local, o dar a conocer el significativo impacto de la carne roja en la alimentación. También, lograr una gestión de la complejidad sin sobrecargar al usuario, ya que el modelo de cálculo considera multiplicidad de factores (km recorridos, noches, tipo de calefacción, etc.), por lo que se requirieron iteraciones de diseño para agrupar preguntas, usar textos de ayuda y establecer valores por defecto razonables, de modo que el formulario fuera utilizable incluso con conectividad limitada.

Asimismo, un número importante de los visitantes utiliza solo teléfonos inteligentes en su visita, por lo que la optimización para dispositivos móviles se tuvo en consideración desde la confección del sitio web. Las primeras versiones mostraban desbordes o solapamientos en pantallas pequeñas o al tener mayor *zoom*<sup>42</sup> en pantalla, lo que exigió ajustes en el diseño responsivo y en la jerarquía visual de los componentes. El balance entre precisión y simplicidad fue clave, se evaluaron opciones de cálculo más detalladas, por ejemplo, distinción entre diferentes tipos de vehículos o equipos de calefacción, pero se descartaron algunas por falta de datos locales robustos o porque aumentaba demasiado la carga cognitiva del usuario (experiencia en oferta de calculadoras de revisiones previas). Estos problemas y sus soluciones fueron documentados y se utilizaron para refinar la arquitectura del sistema y el diseño de la interfaz.

---

<sup>42</sup> Se utiliza el término *zoom* para referirse a la acción de acercar o alejar el contenido visual en pantalla, ajustando su escala para ver más detalle o una visión más general.

### 7.3.2 Ajustes de alcance

A partir de las iteraciones con actores de la reserva de biosfera y del análisis de viabilidad técnica, se realizaron algunos ajustes en el alcance: se priorizó el cálculo de CO<sub>2</sub>e asociado a la fase de visita turística, dejando fuera por ahora emisiones indirectas que requieren modelos adicionales más complejos. Se determinó no incorporar almacenamiento persistente de datos personales en la primera versión, privilegiando un enfoque de uso anónimo, inmediato y orientado a la educación. Algunas categorías potenciales, como compras de recuerdos u otros consumos menores, se agruparon indirectamente en la categoría de alimentación, dado su peso relativo menor en el total de emisiones y la dificultad de capturarlas sin recargar el formulario.

Los ajustes expuestos permitieron llegar a un prototipo coherente y consistente con los recursos disponibles y con el plazo otorgado, manteniendo al mismo tiempo una base extensible para futuras versiones.

### 7.3.3 Decisiones clave

Entre las decisiones de diseño y desarrollo que resultaron críticas para el lanzamiento exitoso de la plataforma digital destaca la adopción de un patrón de “asistente” o *wizard* paso a paso, en reemplazo de un único formulario largo, para acompañar al usuario en la construcción de su viaje de manera secuencial. Igualmente, el incorporamiento de un módulo de acciones sugeridas, dispuesto en la misma pantalla de resultados, evitando que la herramienta se perciba como un simple “medidor” y potenciando su rol como instrumento de educación ambiental. A su vez, el planteamiento de equivalencias pedagógicas que facilitan la comprensión de magnitudes alejadas de conocimiento general, en línea con experiencias reportadas en otras herramientas de huella de carbono. Así como la decisión de generar un reporte PDF dentro del navegador, sin enviar datos a un servidor, reforzando la protección de la privacidad y simplicidad de la operación técnica.

Estas decisiones se reflejan directamente en el funcionamiento del sitio web y en la percepción reportada por los participantes en las pruebas piloto realizadas.

## **Anexo J. Resultados de validación y pruebas piloto (detalle)**

### **7.4.1 Resultados de encuestas a visitantes**

Para evaluar la usabilidad percibida, el diseño de interfaz, la claridad de los resultados y la intención de cambio de conducta, se diseñó una encuesta estructurada de 29 preguntas en la plataforma Forms de Google<sup>43</sup>, que fue aplicada a las personas que utilizaron previamente la calculadora. La encuesta incorporó ítems en escala de 1 a 5 (totalmente en desacuerdo–totalmente de acuerdo respectivamente) organizados en algunas de las siguientes dimensiones:

- Facilidad de uso de la plataforma.
- Claridad de las preguntas en cada módulo.
- Comprensibilidad del resultado (total y desglose por categoría).
- Utilidad de las equivalencias y mensajes explicativos.
- Satisfacción a nivel general

En ella participaron 62 personas usuarias, que formaron parte del estudio principalmente mediante la difusión por redes sociales, así como el compartir directo del enlace de la encuesta a personas con intereses comunes en lo que involucra el resguardo y conservación de la naturaleza, encontrándose entre ellos administrativos directos de la reserva de biósfera e integrantes de los principales gremios existentes.

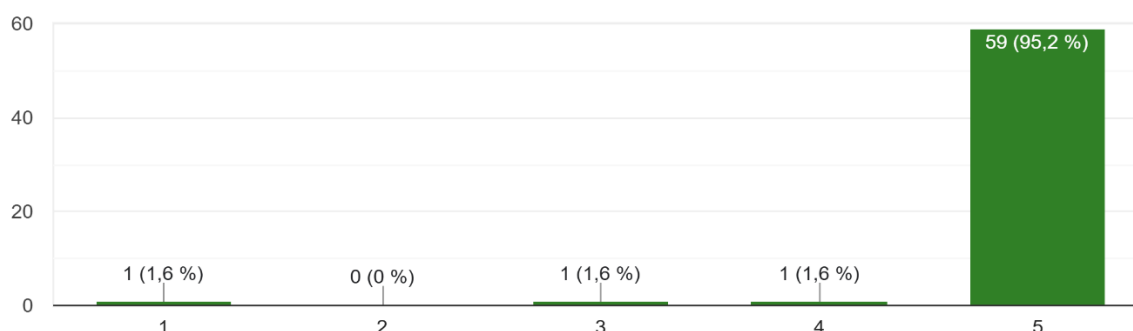
En virtud de los resultados y en términos generales, la herramienta fue evaluada muy positivamente por los usuarios participantes (Figura 11 y 12). Un 91,9 % declaró que la calculadora fue ‘fácil’ o ‘muy fácil’ de usar, un 93,5 % señaló que comprendió claramente el significado del resultado expresado en kg CO<sub>2</sub>e. Asimismo, un 96,8 % indicó que le parecieron muy útiles las acciones sugeridas proporcionadas en el módulo final de resultados”. Además, al preguntar, y con la única pregunta con una escala de 0 a 10, sobre ¿qué tan probable es que recomiendes esta calculadora a un amigo o familiar que visite la reserva de biósfera? La respuesta fue de 10 en un 100% (62 usuarios participantes).

---

<sup>43</sup> Fuente: <https://docs.google.com/forms>

Gracias a la calculadora entendí mejor qué actividades de mi visita generan más emisiones de CO<sub>2</sub>e.

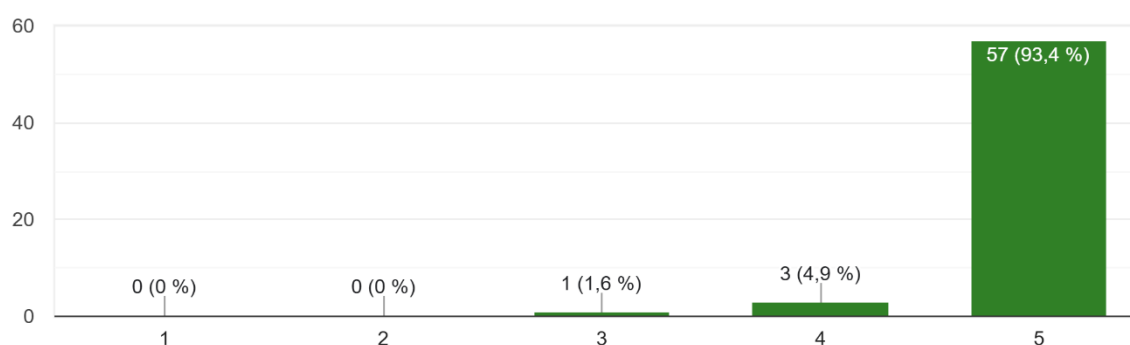
62 respuestas



*Figura 9. Gráfico de barras de pregunta contenida en Encuesta de validación y percepción*  
Fuente: Forms de Google

Considero que la calculadora es una herramienta adecuada para estimar la huella de carbono de mi visita.

61 respuestas



*Figura 10. Gráfico de barras de pregunta contenida en Encuesta de validación y percepción*  
Fuente: Forms de Google

Estos resultados reflejan que la herramienta proporcionada a la cartera de recursos de la reserva de biósfera cumplió con éxito sus objetivos y obtuvo una retroalimentación sobresaliente con comentarios anónimos como: “es una herramienta útil para tomar las mejores decisiones para resguardar el medio ambiente”, “el mensaje educativo que entrega, uno se va informado o “me gustó conocer cuánto podría ser mis emisiones”, entre otros. Mostrando así la satisfacción de los usuarios y generando valor para todo aquel que tenga la oportunidad de estimar la huella de su visita.

#### 7.4.2 Métricas de uso y análisis del comportamiento del usuario

Gracias a la integración de analítica web, en este caso de Google Analytics, el prototipo permite registrar métricas de uso relevantes, realizado bajo un enfoque de minimización de

datos y sin recopilar información personal identificable. Entre los indicadores que se implementaron desde el lanzamiento del sitio web se encuentran:

- Número de sesiones y usuarios únicos en tiempo real.
- Tasa de finalización del cálculo: proporción de usuarios que llegan efectivamente al módulo de resultados respecto del total que inicia el paso 1.
- Tiempo promedio por sesión y tiempo promedio en el módulo de resultados.
- Distribución de la categoría prioritaria de huella: porcentaje de sesiones en que la mayor contribución proviene de transporte ida/regreso, alojamiento, etc.
- Interacción con las tarjetas de acción: porcentaje de usuarios que abre al menos una acción prioritaria, que mueve el deslizador de compromiso y que accede a la pestaña de “Acciones sugeridas”.

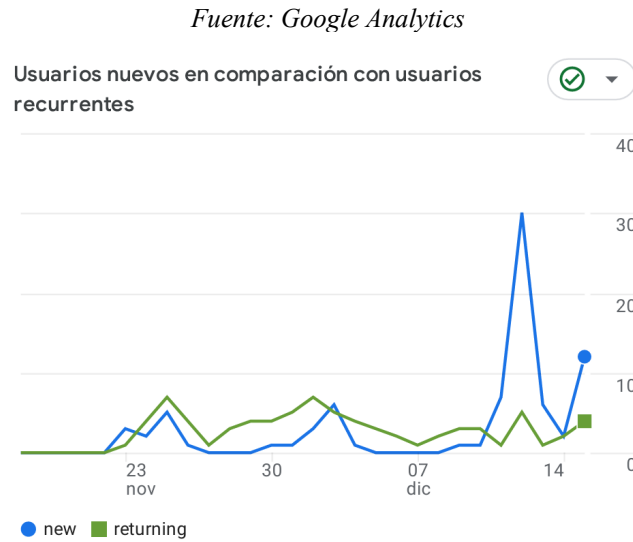
Es preciso destacar que no se pudieron obtener estadísticas relevantes desde el periodo de lanzamiento hasta la entrega de este documento por medio del track de eventos de Google Analytics, esto debido a que, con motivos de pilotaje y constantes pruebas de validación, se ingresó y probó el modelo en múltiples ocasiones por parte del desarrollador hasta tener el prototipo funcional y final. Sin embargo, se pudieron registrar algunas estadísticas como los usuarios activos por ciudad y la cantidad de usuarios nuevos que ingresaban por día (Figuras 13 y 14).



Usuarios activos ▼ por Ciudad ▼

| CIUDAD      | USUARIOS ACTI... |
|-------------|------------------|
| Santiago    | 19               |
| Talcahuano  | 12               |
| Concepcion  | 10               |
| Boardman    | 6                |
| Chillan     | 6                |
| Antofagasta | 4                |
| Santa Clara | 4                |

Figura 11. Captura de pantalla de Reporte Panorámico “Usuarios activos por ciudad” del sitio web



*Figura 12. Captura de pantalla de Reporte Panorámico “Usuarios nuevos” del sitio web*  
*Fuente: Google Analytics*

En líneas generales, las respuestas y los comentarios cualitativos de la encuesta pueden ayudar a interpretar la visión de los posibles nuevos y/o recurrentes visitantes a la reserva de biósfera, identificando dónde se puede mejorar y qué aspectos considerar más críticos a abordar. Paralelo a ello, se desprende que el usuario en su mayoría buscar ser más responsable con su accionar y agradece la implementación de este tipo de plataformas por su gran colaboración a la sustentabilidad y al medio ambiente.

## **Anexo K. Disponibilidad del código fuente**

El código fuente de la plataforma desarrollada se entrega en un archivo .zip en conjunto con este documento, incluyendo una versión etiquetada (v1.0.0) correspondiente al estado final utilizado en esta memoria de título. El archivo incluye instrucciones de instalación y ejecución (README), además de la estructura completa del proyecto.