



UNIVERSIDAD MODELO

ESCUELA DE INGENIERÍA

“ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL TREN MAYA: IMPACTO AL CALENTAMIENTO GLOBAL DEL TRAMO MÉRIDA-CANCÚN”

PROYECTO

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ENERGÍA Y
PETRÓLEO

PRESENTADA POR

**JENNIFER CELAYA PÉREZ
OBED ELIOENAI MONTERO CERVANTES**

Mérida, Yucatán

FECHA DE TITULACIÓN

SE AUTORIZA IMPRESIÓN DE PROYECTO

Ricardo Ramírez Quintana

Presente.

De acuerdo al dictamen emitido por la comisión revisora compuesta por el MA Edward Cerón Hernández y la MI Patricia Teresita Millet Bolio, considerando que este proyecto cubre satisfactoriamente todos los requisitos, se autoriza la impresión del trabajo:

“Comercialización de sistema generador de energía eléctrica para bicicletas estacionarias”

Atentamente

MC Carlos Elisio Sauri Quintal
Director de la Escuela de Ingeniería.

© Derechos de autor

Por este medio declaro que este trabajo de titulación:

“<Análisis del Ciclo de Vida del Tren Maya: Impacto al
calentamiento global del tramo Mérida-Cancún>”

es de mi propia autoría, a excepción de las citas y referencias que he empleado para
fundamentar mis argumentos, a las cuales he dado crédito a sus autores
relacionados en la sección Referencias . Asimismo, afirmo que este trabajo no ha
sido presentado previamente con este nombre para la obtención de otro título
profesional o grado académico equivalente.

Firma: _____

Nombre: _____

Mérida, Yucatán, <Fecha>

DEDICATORIA

Texto normal. Esta sección es opcional

AGRADECIMIENTOS

Texto normal. Esta sección es opcional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
Capítulo 1. Introducción	3
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	4
Capítulo 3. DESARROLLO	10
Capítulo 4. RESULTADOS	17
Capítulo 5. CONCLUSIÓN	25
REFERENCIAS	26
ANEXO 1	28

RESUMEN

En el proyecto se estudia el nuevo proyecto de gobierno, Tren Maya, desde una perspectiva ambiental. Se realizan estimaciones de las emisiones de gases con impacto al calentamiento global, que genera el Tren Maya en el tramo Mérida-Cancún, considerando la fase de infraestructura y operación del proyecto. El estudio se realiza mediante un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) con el programa SimaPro.

Capítulo 1. Introducción

El Tren Maya es un proyecto ferroviario desarrollado en México con gran impacto en los estados donde transporta, ha generado gran interés y debate, tanto por sus potenciales beneficios como por sus posibles impactos.

Uno de los objetivos del Tren Maya es ser amigable con el medio ambiente, sustituyendo vehículos de combustión interna. Asimismo, plantea tener una parte eléctrica y otra híbrida, impulsado por un combustible más limpio.

Por ende promete una potencial mitigación del calentamiento global debido a la electrificación y uso de “diésel ecológico”. Por ello, es importante realizar estudios de estimación sobre la cantidad de emisiones de gases, con impacto en la temperatura del planeta, que este nuevo proyecto generará durante su fase de infraestructura y operación. Y así, sustentar la mitigación del calentamiento global en el tramo propuesto.

Planteamiento del problema

Debido a la fase en la que se encuentra el proyecto de gobierno, los resultados de las emisiones del Tren Maya previstas, únicamente provienen del gobierno como cifras finales. Por ende, hay una escasez de estudios transparentes que muestran la obtención de datos y/o proceso de cálculo sobre las estimaciones de las emisiones de CO₂ equivalente que tendrá el Tren Maya.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los conceptos importantes para comprender y realizar el estudio de investigación, dicho conceptos van desde el Tren maya, pasando por el Análisis del Ciclo de Vida, hasta el programa SimaPro seleccionado para elaborar el proyecto.

2.1 Tren Maya



Figura 1. Ruta del Tren Maya.

El Tren Maya es un proyecto de infraestructura de transporte ferroviario de pasajeros y carga que se construirá en el sureste de México. El proyecto tiene una longitud total de aproximadamente 1,500 kilómetros y conectará los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

El Tren Maya posee tres grupos de objetivos como proyecto:

1.-Desarrollo económico: El proyecto pretende impulsar el desarrollo económico

de la región sureste del país. Mediante la creación de empleos, fomentando el turismo y mejorando la conectividad entre los estados involucrados.

2.- Desarrollo social: El Tren Maya busca mejorar la calidad de vida de las comunidades locales que lo rodean. Mediante el acceso a servicios básicos, educación y atención médica.

3.- Protección Ambiental: El proyecto es planteado como una alternativa sostenible al transporte aéreo y terrestre, con el objetivo de reducir las emisiones de gases efecto invernadero y proteger la biodiversidad de la región.

2.2 Tipo de Combustible del Tren Maya

El tren maya posee hasta el momento 4 unidades que recorren dentro del territorio Yucateca. Cada tren posee un sistema híbrido en donde el 44% es accionado por energía eléctrica proporcionada por la CFE y el otro 56% es accionado por diésel ecológico proporcionado por PEMEX. Sin embargo el tramo Mérida-Cancún está completamente electrificado.

El diésel del Tren Maya es un “Diésel ecológico”, también llamado “Diesel UBA (Ultra Bajo en Azufre)”. No utiliza agentes aromáticos, es bajo en azufre y contiene altos índices de cetano; es decir, al quemarse libera contaminantes que son dañinos y posee un mejor índice de autoignición relacionado con la eficiencia de combustible. Dicho combustible será suministrado por la compañía PEMEX fabricado en la refinería Deer Park. Este tipo de combustible durante la combustión, resulta emitir entre un 50-90% menos de contaminantes a comparación de un combustible tradicional.



Figura 2. Firma del contrato del suministro de PEMEX diésel ecológico al Tren Maya.

Por otra parte, la electrificación del recorrido tendrá una longitud de 690 km, los cuales representan el 44% de la trayectoria total del Tren Maya. Para hacer posible la electrificación, se requieren de 53 subestaciones eléctricas, dos centrales de ciclo combinado en Mérida y Valladolid (1,519 MW) y una central fotovoltaica Nachi Cocom (30MW). El abastecimiento eléctrico es proporcionado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Dentro de los beneficios que plantea la electrificación se encuentran:

- 1.-Reducción de emisiones
- 2.-Eficiencia energética
- 3.- Menor ruido
- 4.-Menos mantenimiento

2.3 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Es una metodología que permite estimar y evaluar los impactos de un producto o servicio durante todas las etapas de su vida.

Es importante comprender que todas las actividades y procesos generan algún tipo de impacto medioambiental, consumen recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su vida; por este motivo es importante poder valorar estos impactos, pues pueden influir en procesos como el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono, eutrofización, acidificación, entre otras.

Los resultados del ACV permiten realizar el análisis de alternativas en procesos productivos y la implementación de criterios ambientales por medio de estrategias. Asimismo permite identificar aquellos puntos críticos ambientales, comparar diferentes productos o servicios, mejorar el diseño o proceso y comunicar el desempeño ambiental. Existen 5 tipos de ACV:

1. De la puerta a la puerta: Su alcance se limita al proceso productivo del proyecto.

2. De la cuna a la puerta: Tiene un alcance desde la obtención de los recursos hasta el proceso productivo inicial.
3. De la puerta a la tumba: Su alcance es desde el proceso productivo hasta la fase de residuos del producto a tratar.
4. De la cuna a la tumba: Tiene un alcance desde la obtención de los recursos hasta la fase de residuos del producto.
5. De la cuna en la cuna: El alcance de este tipo de ACV se trata de la reintroducción del residuo del producto en el mismo ciclo productivo.

2.4 Marco normativo del ACV en ISO's

Las ISO's son el acrónimo de “International Organization for Standardization”, corresponden a un conjunto de estándares con reconocimiento a nivel internacional con el objetivo de establecer niveles homogéneos para las empresas; regulan diferentes procesos y metodologías.

Por ende, el Análisis del Ciclo de Vida posee sus propias ISO's, las cuales estandarizan la metodología para llevarla a cabo, a continuación se describen:

ISO 14040-Marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de Análisis de ciclo de vida.

ISO 14041-Necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida

ISO 14042-Guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (AICV).

ISO 14043-Recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un Análisis de ciclo de Vida o los estudios de un ICV.

ISO 14044-Regula la metodología de evaluación ambiental de análisis de ciclo de vida.

ISO-14001:2015 acerca del Sistema de Gestión Ambiental. En ella se promueve la realización de un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta útil para identificar, evaluar y mitigar los impactos ambientales de una organización. Los beneficios de utilizar un ACV en el marco de la ISO 14001 van desde la comprensión de los impactos ambientales, pasando por la toma de decisiones informadas, hasta la mejora del desempeño ambiental.

NTC-ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia

Las fases del análisis del ciclo de vida:

1. Definición de objetivos y alcance: Formulación de la pregunta de investigación que va a orientar la elaboración del ACV. Explicación del contexto en el que se va a enmarcar la investigación. Definido en *NTC-ISO 14041*.
2. Inventario del ciclo de vida: Recolección de todos los flujos de entrada y salida del sistema productivo. Identificar y cuantificar todos los recursos que comprende la producción del servicio o producto. *NTC-ISO 14042*.
3. Evaluación de los impactos del ciclo de vida: Análisis de los daños ocasionados a la salud humana y a los ecosistemas como producto del uso de los recursos naturales y emisiones generadas por un sistema productivo. *NTC-ISO 140403*.
4. Interpretación de los resultados: Proceso sistemático para identificar, clarificar, verificar, evaluar y presentar las conclusiones basadas en los resultados objetivos en el inventario del ACV y en la evaluación de impactos.

NTC-ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices

Es la norma internacional utilizada para establecer un marco estandarizado para evaluar el ciclo de vida de los productos, generando y otorgando todos los requisitos y estableciendo las directrices para llevar a cabo la evaluación.

2.5 SimaPro

Es un software de la empresa Pré Consultants que asesora en la creación de productos, empresas o sectores más sostenibles. El objetivo principal del software es obtener más información sobre el desempeño ambiental de un producto o servicio bajo el método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El software recopila, analiza y monitorea datos para determinar el desempeño ambiental del producto o servicio.

Está estrechamente relacionado con ISO 14040, ISO 1044 ya que estandariza el procedimiento de un ACV. SimaPro posee las mismas fases establecidas por las ISO's. A continuación se muestra un listado de las partes a seguir del programa:

1. Instructor: Tiene como objetivo guiarte en la implementación del software.
2. Objetivo y Alcance
3. Inventario: Establecer procesos, etapas del producto, tipo de residuo y parámetros.
4. Evaluación del impacto: Establecer métodos y configuración de cálculo.
5. Interpretación
6. Datos Generales

Capítulo 3. DESARROLLO

Este capítulo presenta el desarrollo y planeación de la metodología del proyecto realizado. El enfoque de este capítulo es mostrar el procedimiento y planteamientos propuestos para llevar de manera ordenada y clara el estudio.

3.1 Justificación

El proyecto del Tren Maya ha sido un tema controversial con opiniones divididas acerca de sus beneficios y daños en aspectos ambientales. Asimismo en la actualidad y en el futuro, el Tren Maya posee un efecto significativo en México, en especial en la península yucateca.

Por lo tanto, es importante contar con estudios que recopilen a fondo datos verídicos y arrojen resultados sustentados acerca del proyecto, y así, crear un medio de divulgación en donde la población se informe del impacto ambiental tanto positivo como negativo del Tren Maya, enfocado en las emisiones que genera.

3.2 Objetivos

General:

Realizar un “Análisis del Ciclo de Vida” para obtener una estimación de emisiones de CO₂eq que generará el Tren Maya en el tramo Mérida-Cancún.

Específicos:

1. Realizar entrevistas a expertos en temas de ACV y con relación al Tren Maya para adquirir opiniones profesionales acerca del impacto que posee el proyecto.
2. Definir el objetivo y el alcance que tiene el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del Tren Maya durante el trayecto Mérida-Cancún.

3. Realizar el Inventario del Ciclo de Vida (ICV) mediante la obtención de datos e información en fuentes confiables.
4. Realizar un Análisis del Ciclo de Vida mediante el software SimaPro para estimar las emisiones en masa de CO₂eq del Tren Maya de Mérida-Cancún por km y persona transportada.
5. Interpretar y efectuar una traducción de los resultados de CO₂eq del Tren Maya a la cantidad de camiones ADO por reemplazar.

3.3 Metodología

3.3.1 *Entrevista con expertos*

Se seleccionaron tres expertos con relación al Tren Maya para entrevistar:

Dr. Mayanin A Sosa Alcaraz:

Maestra de desarrollo sustentable en la carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Mérida y posee un Doctorado en Sustentabilidad para el Desarrollo. Asimismo, posee conocimientos en temas ambientales y desarrolla proyectos de investigación relacionados al Tren Maya, fungiendo como asesora.

MC. Angel Eduardo Peraza Cano:

Licenciado en turismo sustentable y gestión hotelera, con maestría en planificación de empresas y desarrollo regional. Tiene participación en proyectos de investigación en comunidades yucatecas. Así como también, desarrollo de viabilidad de proyectos complementarios en comunidades con posible impacto del Tren Maya.

MC. Saúl Javier Martínez Vázquez:

Licenciado en economía con maestría en planificación de empresas y desarrollo regional. Investigación en la creación colaborativa de un plan de desarrollo comunitario autogestivo y sustentable en la comisaría de Kimbilá, Izamal, donde se encuentra en construcción la estación Izamal del Tren Maya.

Tras recabar la información proporcionada en las entrevistas, se obtuvieron los puntos claves.

- Emisiones de CO₂ : Gases que generan un mayor impacto, sin la medición hay acumulación del gas y termina en el incremento del calentamiento global.
- Sustentable: No, ningún proyecto es 100% sustentable.
- Mitigar impacto en comunidades: integración de la comunidad en actividades, proyectos.
- Percepción social: diferentes ideas, conocer necesidades.
- Aceptación social: comunicación, factor económico, promesas.
- Efectos negativos: escasez de agua, residuos, pérdida de cultura.
- Recomendaciones: tener tolerancia, empatía, definir que es escolar, respetar costumbres, no realizar solo encuestas cuantitativas.
- Desafíos: rechazo, tiempo, desconfianza.

En las tres entrevistas podemos concluir que existe una gran importancia de realizar este tipo de estudios en donde se evalúen las emisiones de CO₂ por 2 razones principales: El nivel de impacto que posee este tipo de gas en la atmósfera y la escala que posee el proyecto en el país.

Dr. Freddy S. Navarro Pineda:

Ingeniero industrial con maestría en Energía Renovable y un Ph.D. en ciencias químicas y bioquímicas. Especializado en Evaluación del Ciclo de Vida Ambiental (ACV), evaluación tecno-económica, energía renovable y simulación de procesos con más de 6 años de experiencia.

La visita y sesiones con el experto sirven como guía para realizar el ACV desde el planteamiento del objetivo y alcance, pasando por la selección de datos del Inventario del Ciclo de Vida, hasta el manejo del software SimaPro. Aunado, a la familiarización que el doctor cuenta con

las ISO's involucradas en el proyecto y su experiencia con la realización de ACV en SimaPro y OpenLCA.

3.3.2 Análisis del Ciclo de Vida

En este paso de la metodología se decide el programa a usar para realizar el Análisis del Ciclo de Vida, así como también se solicita a la universidad la información de los permisos correspondientes para hacer uso del software mediante la instalación en nuestros dispositivos. Asimismo, corresponde a la instalación e introducción de la licencia.

De igual forma, en este proceso se contempla el aprender a utilizar el software y reconocer los elementos y funciones que posee. Para ellos se acuden a diferentes fuentes oficiales, guías prácticas y personal experto en el manejo del software.

3.3.2.1 Definir objetivo y alcance

Objetivo: Se debe formular la pregunta de investigación que va a orientar la elaboración del ACV. Según las ISO's requiere de 4 aspectos:

1. Aplicación: Para qué se va a llevar a cabo el método.
2. Razones del estudio: Por qué se va a llevar a cabo.
3. Audiencia prevista: A quien va a ir dirigida el caso de estudio.

Alcance: Explicación del contexto en el que se va a enmarcar la investigación. Es aquella que menciona y define la unidad funcional (valor de medida), método de impacto, método de interpretación, sistema seleccionado.

Para el proyecto:

3.3.2.2 Inventario del ciclo de vida

Es la recolección de todos los datos de flujos de entrada y salida del Tren Maya; Identificar y cuantificar dichos datos.

Definir esta parte del proyecto es la más crucial. La obtención de datos se hará por

medio de búsquedas en sitios oficiales y de confianza.

Dentro del programa SimaPro encontramos bibliotecas y se debe seleccionar la más adecuada y afín para el objetivo de estudio. Asimismo, se utilizan datos de fuentes confiables para poder completar el ICV.

Y la unidad de resultado al final del estudio es en masa: kgCO₂/pkm. Estas unidades de medida permiten realizar la comparación de la eficiencia del Tren Maya con respecto a otros medios de transporte como aviones, autobuses, automóviles y hasta otro tipos de trenes, en términos de emisiones de CO₂ por persona transportada y kilómetros recorridos.

3.3.2.3 Evaluación del impacto

Corresponde al análisis de los daños ocasionados a los ecosistemas involucrados. En esta etapa se definen.

1. Métodos: Métodos de evaluación (Europa, Norte, América, Global, entre otros).
2. Configuración de cálculo: Existen 3 tipos de formas para calcular los impactos ambientales: En red, Analizar (Gráficas) y Comparar.

3.3.2.4 Interpretación

Proceso para identificar, verificar y presentar las conclusiones basadas en los resultados obtenidos. En esta etapa se toma en cuenta la realización de herramientas visuales que ayuden a describir los resultados de una manera más sencilla. Asimismo, se plantea realizar traducciones que plasmen la cantidad de medios de transporte que el Tren Maya va a sustituir.

3.3.2.4 Selección de sistema de comparación

Es importante definir cuál es el sistema de comparación con el Tren Maya, dicho sistema debe cumplir cierta similitud con la trayectoria del Tren Maya planteado.

3.4 Plan de proyecto

El proyecto está en función de dos semestres que conforman desde su planteamiento, pasando por la metodología, hasta la entrega de resultados. Es decir, desde el 21 de agosto 2023 hasta 13 junio 2024. A continuación se muestra el plan de proyecto estructurado:

Actividades	Descripción	Plan 1er semestre										Plan 2do semestre					
		21/08-24/08	25/08-31/08	01/09 - 07/09	08/09 - 14/09	15/09 - 28/09	29/09 - 19/10	20/10 - 16/11	17/11 - 21/12	11/01 - 22/02	23/02 - 07/03	08/03 - 25/04	26/04 - 02/05	03/05 - 31/05	01/06 - 10/06		
Investigación de Problemáticas	Investigar y reconocer problemáticas que giran en torno a su ambiente y que tengan relación con "energía" con aplicación real.																
Debate de Ideas	Realizar un debate entre los integrantes para reconocer las ventajas y desventajas de las propuestas encontradas. Se comparan las ideas de proyecto.																
Elección de Proyecto	Escoger la idea con mayor proyección para ser enviada a los docentes para su aprobación. Una vez aprobado el proyecto se continúan las tareas correspondientes.																
Organización de Etapas	Se realiza una organización completa y clara de las fases que contendrá el proyecto.																
Antecedentes	Realizar una investigación más completa y exhaustiva de la información que abarca el contexto del Tren Maya. Es decir, desde su planeación hasta su puesta en marcha.																
Estudios Previos	Adquirir estudios realizados al Tren Maya para su análisis, indagación y observación.																
Entrevista a Expertos	Realizar una serie de preguntas, con respecto al impacto ambiental del Tren Maya, a diferentes expertos en el tema ambiental. Recabar información y opiniones de expertos.																
Ánalisis del Ciclo de Vida	Seleccionar el programa para realizar el ACV, solicitar los permisos correspondientes, investigar y aprender a utilizar el software.																
Definir el objetivo y alcance	Determinar el ¿Para qué?, ¿Por qué?, ¿Para quién? estara dirigido el estudio de las emisiones de CO ₂ del Tren Maya. Determinar la unidad funcional y los límites del estudio.																
Inventario de Ciclo de Vida	Recolectar la información de los flujos de entradas y salidas. Identificar y cuantificar todos los datos del Tren Maya.																
Evaluación del Impacto	Analizar los daños al ecosistema como producto de las emisiones generadas por el Tren Maya.																
Interpretación	Procesar los resultados para presentar conclusiones con herramientas visuales y datos que traduzcan la cantidad de transporte a sustituir.																
Documentación	Recabar toda la información obtenida, los datos investigados y la compilación de investigación en un solo documento.																
Presentación Final	Presentar los resultados finales del proyecto realizado por el equipo. Resolución de dudas al público expectador. Recabación de comentarios con objetivo de mejora al proyecto.																

Figura 3. Plan de Trabajo.

Con el objetivo de visualizar mejor la metodología del proyecto se genera un diagrama en el software Lucidchart

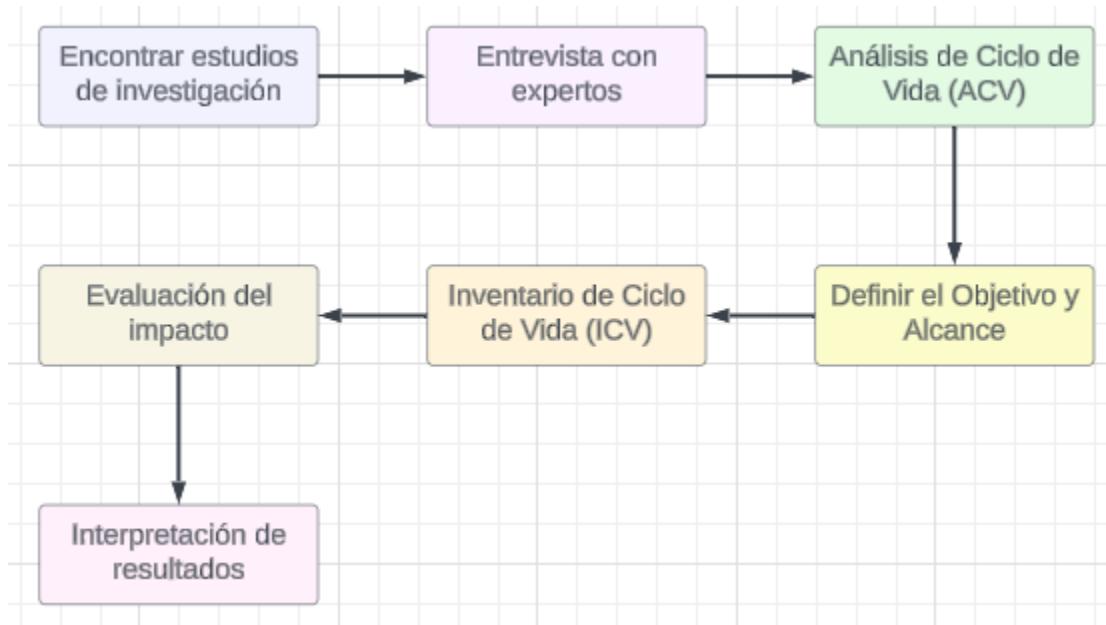


Figura 4. Metodología de trabajo.

Capítulo 4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados que abordan el proyecto tras la aplicación de la metodología planteada. Dichos resultados van desde la formulación del objetivo y alcance, pasando por la construcción del ICV, hasta los resultados del ACV.

4.1 Resultados: Entrevista con expertos

La realización de las entrevistas es el primer objetivo que se cumplió el pasado noviembre con los expertos Dra. Mayanin A. Sosa Alcaraz, MC. Angel Eduardo Peraza Cano y MC. Saúl Javier Martínez Vázquez en la cual se concluyó la gran importancia de realizar estudios de las CO₂ por ser gases altamente contaminantes y por la gran escala que posee el Tren Maya.

Posteriormente se realizó la entrevista el mes de abril con el experto Dr. Freddy S. Navarro Pineda el cual ayuda con el proceso del ACV y el uso del software SimaPro. Corrigiendo el objetivo del proyecto, completando el ICV, otorgando datos y formatos necesarios, fungiendo como apoyo en la evaluación e interpretación del ACV.

4.2 Resultados: Definición del ACV

El tipo de ACV a realizar es de la cuna a la puerta ya que, el análisis busca evaluar las emisiones de CO₂ eq asociado con: La fase de construcción, operación, movimiento de pasajeros y mercancías a lo largo de la ruta de Mérida-Cancún del Tren Maya. Lo anterior, debido a la restricción de acceso a datos complejos que se requieren al momento de hacer un ACV con mayor alcance. A continuación, se muestra un diagrama donde se plasman todas las etapas de vida del proyecto “Tren Maya”, en donde se señalan las etapas que aborda el ACV de estudio.

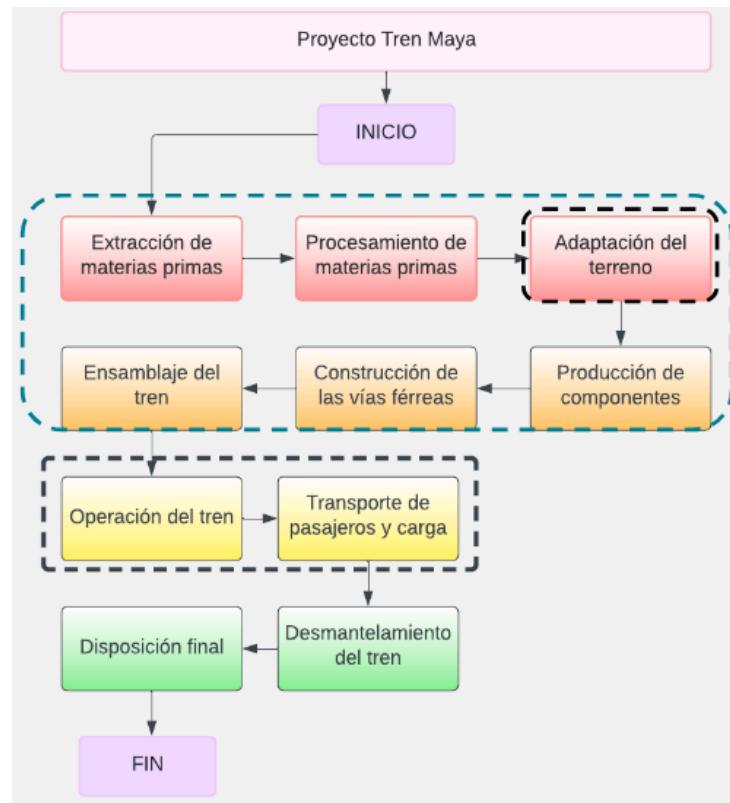


Figura 5. Etapas del Tren Maya, selección ACV.

De igual forma se adjunta un diagrama que muestra todo el proceso realizado para completar el ACV con el software SimaPro.



Figura 6. Metodología del ACV en el programa SimaPro.

4.3 Resultados: Definir el objetivo, alcance y limitaciones

Unidad Funcional:

Tras realizar el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se espera obtener estimaciones de las emisiones de CO₂eq del Tren Maya durante las fases de infraestructura y producción, es decir, su puesta en marcha en unidades de masa (KgCO₂ eq/pkm).

Sistema de comparación:

Por otro lado, se define el sistema de comparación resultando: Obtener una traducción de la cantidad de camiones ADO que el Tren Maya sustituirá Con el objetivo de visualizar si el proyecto aporta a la disminución o aumento de CO₂eq en la trayectoria Mérida-Cancún.

Audiencia prevista:

Este Análisis del Ciclo de Vida va dirigido a los usuarios del Tren Maya, específicamente para los clientes de la ruta analizada. Lo anterior, como parte de una divulgación científica acerca de los datos de emisión de CO₂ eq por persona que estarán disponibles para el público en general.

Objetivo:

“Evaluar las emisiones en masa del CO₂ eq por km recorrido y pasajero transportado en el Tren Maya, durante el trayecto Mérida-Cancún.”

Alcance:

El estudio comprende al Tren Maya como objeto de estudio durante su fase de infraestructura y transporte en el tramo electrificado Mérida-Cancún.

Limitaciones:

Existen trayectos que realiza el Tren Maya sin considerar, se omiten todos aquellos gases que no impactan al calentamiento global y se omite la fase de “tumba” de proyecto.

En el software SimaPro se introdujeron todos los datos necesarios para completar la ventana de “Objetivo y Alcance”, obteniendo el siguiente resultado:

Nombre	ACV Tren Maya
Fecha	26/02/2024
Autor	Jennifer Celya, Obed Montero
Comentario	
Tipo ACV	Internal Screening
El ACV resumido se refiere a un ACV que se ha hecho en poco tiempo. Normalmente se usan solamente datos disponibles estándar y evaluación de impacto. Análisis de sensibilidad es muy importante.	
Objetivo	Evaluar las emisiones en masa del CO2 eq por km recorrido y pasajero transportado en el Tren Maya, considerando la fase de infraestructura y transporte en el tramo Mérida-Cancún.
Motivo	Realizar un estudio del nuevo proyecto de gobierno para estimar las emisiones de gases con efectos en el calentamiento global que genera el Tren Maya es esencial en esta etapa del proyecto y, posteriormente poder realizar una traducción al medio de transporte ADO que sustituirá y comprobar el compromiso con el medio ambiente que el Tren Maya plantea poseer con la ruta electrificada.
Quien ordena el proyecto	Universidad Modelo

Parte interesada	Universidad Modelo
Ejecutor del Proyecto	Jennifer Celya, Obed Elioenai
Unidad funcional	kg CO2 eq/ persona-km
Flujos de referencia	Fase de transporte de pasajeros y Fase de construcción
Escenarios alternativos	ADO en ruta Mérida-Cancún
Sufijo nombre producto	Tren Maya

Figura 7. Objetivo y Alcance en SimaPro

4.4 Resultado: Construir el ICV

Dentro de SimaPro

Para el ICV del Tren Maya se seleccionaron 3 bibliotecas:

- Methods: Esta librería posee una amplia gama de métodos para la evaluación de impacto.
- Ecoinvent 3 system: Esta librería abarca diversos sectores como la producción de energía, transporte, producción de materiales, químicos, metales, entre otros; presentando los datos como los resultados del sistema de proceso.
- Ecoinvent 3 unit: La librería abarca sectores como la producción de energía, transporte, producción de materiales, químicos, metales, entre otros; presenta los datos como proceso unitario.

Seleccio	Nombre	Protección
<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic - system	
<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic - unit	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - system	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit	
<input type="checkbox"/>	EU & DK Input Output Database	
<input type="checkbox"/>	Industry data 2.0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Methods	
<input type="checkbox"/>	USLCI	

Figura 8. Selección de bibliotecas en SimaPro.

Dentro de las bibliotecas seleccionadas se encuentran los datos necesarios para completar el ICV, dentro de los apartados realizados por el IPCC (Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático). Mismos que fueron transportados a el Excel para integrar toda la información para la evaluación de impacto.

Documento Excel

Se realiza un archivo en formato Excel con todos los datos e información relacionada a:

- 1.-Infraestructura
- 2.- Tren
- 3.- Electrificación
- 4.- ADO

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U																																	
6	Potencia del tren	kWh	3500	Proviene de informacion del tren Renfe serie 449 de España																																																	
7	Emissions por LUG	kg CO2	3641556.08																																																		
8	Impacto al PCG	kg CO2eq/viaje	3151.95958	Promedio entre la cantidad minima y la maxima de personas que puede llevar																																																	
9	Capacidad de pasajeros																																																				
10	Porcentaje de ocupación	Según el porcentaje de ocupación del Tren Pacifico, Costa Rica																																																			
11	Pasajeros transportados	240																																																			
12	Impacto al PCG	kg CO2eq/km	0.366434467																																																		
13																																																					
14	Parámetro	Unidad	Valor	Base de datos	Confianza	Complejidad	Correlación temporal	Correlación geográfica	Correlación tecnológica	Calidad promedio	Observaciones	Referencias	Factor de emisión	Unidad de factor de emisión	Base de datos de factor de emisión	PCG																																					
15	Tren con 5-7 vagones	0.00001956947	Dato estimado	2	3	1	1	3	2					Ecoinvent v3.9.1	0																																						
16	Uso de suelo	kg CO2eq/viaje	0.02213013698	Dato estimado	3	2	2	1	3	2.2					No aplicable	0																																					
17	Emissions por uso de suelo	kg CO2eq/viaje	26912.02471	Dato estimado	2	3	2	2	3	2.4					1	No aplicable	26912.02471																																				
18	Electricidad(alto voltaje)	kWh/viaje	8665.517241	Dato estimado	2	1	3	1	1	1.6					0.607	kg CO2/kWh	Ecoinvent v3.9.1 Electricity, high voltage (MWh) market for electricity, high voltage Cut-off: U	5259.968986	kg CO2eq	0.607																																	
19																																																					
20	Parámetro	Confianza	Complejidad	Correlación temporal	Correlación geográfica	Correlación tecnológica	Calidad promedio																																														
21	Tren con 5-7 vagones	2	3	1	1	3	2																																														
22	Uso de suelo	3	2	2	1	3	2.2																																														
23	Emissions por uso de suelo	2	3	2	2	3	2.4																																														
24	Electricidad(alto voltaje)	2	1	3	1	1	1.6																																														
25																																																					
26	2.95																																																				
27																																																					
28																																																					
29																																																					
30																																																					
31																																																					
32																																																					
33																																																					
34																																																					
35																																																					
36																																																					
37																																																					
38																																																					
39																																																					
40																																																					
41																																																					
42																																																					
43																																																					
44																																																					
45																																																					
46																																																					
	+ =	Infraestructura	Tren	Electrificación	ADO	Cálculo de emisiones																																															

Figura 9. ICV en formato Excel.

Cada uno de los datos fueron recopilados de fuentes confiables, entre ellos:

1.- Página Oficial del Tren Maya y documentos oficiales

2.- Página del Gobierno de México

3.- FONATUR

4.- SEMARNAT

5.- SimaPro

4.5 Resultado: Sistema de comparación

Razones de elección ADO

El sistema de comparación definido para el proyecto son los camiones de transporte terrestre “ADO” esto debido a las siguientes razones:

1.- Similitud con la ruta: La empresa cuenta con la ruta Mérida-Cancún, tanto de ida como de regreso.

2.- Alternativa de uso para los usuarios: El transporte por medio de autobuses ADO es la alternativa que en la actualidad se presenta en los usuarios y antes del Tren Maya era el método de transporte más utilizado para quienes no viajan en coche propio.

3.- Tipo de combustible: El ADO se transporta por medio de Diésel, a pesar de no ser electrificado es una buena opción ya que representa el contraste del combustible.

4.- Capacidad de pasajeros: A diferencia de un coche propio, este método de transporte posee una capacidad considerable de pasajeros y contando la cantidad de rutas que salen al día, es un buen punto de comparación con el Tren Maya.

4.6 Resultado: Inventario del Ciclo de Vida

Infraestructura

Empresa (T3): Elemento	Urales/Grupo INDI Material	Empresa (T4): Unidad	ICA Cantidad
Rieles	Acero calibre	lb/yd	115
Durmientes	Concreto	Material	-
Balasto	Basalto	Material	-

Tabla 1. Materiales para la construcción del riel.

Parámetro	Unidad	Valor
Distancia de seguridad	m	1.8
Ancho vías del Tren	m	14.3

Tabla 2. Dimensiones de anchura del tren.

Parámetro	Unidad	Valor	Base de datos	Observaciones
Distancia entre poste de seguridad	m	3.6	(FRA) Administración Federal de Ferrocarriles	Provenientes de información oficial de los Estados Unidos de América
Ancho total	km	0.018	Dato estimado	
Área ocupada	ha	646.2	Dato estimado	Distancia de seguridad de Estados Unidos, a falta de información mexicana Sin considerar el espacio de las estaciones

Tabla 3. Estimación del área ocupada.

Tren

Elemento	Unidad	Valor	Valor. Mín	Valor. Máx	Total
Tren	Tren	4	-	-	4
Vagones	Unidades/tren	6	5	7	24
Pasajeros	Personas	400	300	500	1600
Distancia	km	359	-	-	359
Velocidad	km/h	145	130	160	145
Carga Máx	toneladas	17.5	-	-	17.5

Tabla 4. Datos y estimaciones del Tren Mayal.

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN			PORCENTAJE	
NOMBRE	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	MÍNIMO	MÁXIMO
Shinkansen	Japón	Alta velocidad Tecnología avanzada	70%	90%
Tranvía Medellín	Colombia	Conecta diferentes zonas de la ciudad Mejora la movilidad urbana	52%	
Tren Pacífico	Costa Rica	Tren eléctrico Conecta comunidades Promueve el turismo sostenible Transporte de pasajeros	60%	
Tren Andean Explorer	Perú	Experiencia de lujo Conecta diferentes puntos turísticos de Perú	70	80

Tabla 5. Porcentaje de ocupación de referencia.

Electrificación

Tipo:	Eléctrico Alto Voltaje			
	Elemento	Unidad	Cantidad	Cant. Mín
Energía	HP*hr	17173.32	6731.25	27615.38
Energía	kWh	12806	5019	20592
Potencia	HP	6500.00	3000	10000
Tiempo	hr	2.50	2.76	2.24

Tabla 6. Datos y estimaciones de electrificación del Tren Maya.

Demanda de energía eléctrica pronosticada al 2024	
2642	MW
Tren + obras complementarias	

Tabla 7. Energía estimada para el 2024 del Tren Maya.

ADO

Combustible:	Diésel					
Elemento	Unidad	Cantidad (Ida)	Cant. Mín	Cant. Máx	Cantidad (Regreso)	Total
Camión	Camión	55			50	105
Asientos	Personas	36	24	49	36	3780
Distancia	km	292			292	584
Velocidad	km/h	62.66			62.66	62.66
Consumo	km/l	4	3	5	4	7665
Tiempo	hr	4.66			4.66	

Tabla 8. Datos y estimaciones de camiones ADO.

4.7 Resultado: Evaluación del impacto

Parámetro	Unidad	Valor	Observaciones
Número de viajes	Viajes/día	4	Dos viajes de ida y dos de vuelta
Distancia recorrida	km	359	Entre Mérida y Cancún según las vías del Tren Maya
Velocidad del tren	km/h	145	Promedio de la velocidad máxima y velocidad mínima
Tiempo de recorrido	h	2.5	División entre la distancia recorrida y la velocidad del tren
Potencia del tren	kWh	3500	Proviene de información del tren Renfe serie 449 de España
Emisiones por LUC	kg CO ₂	38415556.08	
Impacto al PCG	kg CO ₂ eq/viaje	31571.99368	
Capacidad de pasajeros		400	Promedio entre la cantidad mínima y la máxima de personas que puede llevar
Porcentaje de ocupación		60%	Según el porcentaje de ocupación del Tren Pacífico, Costa Rica
Pasajeros transportados		240	Dato estimado con respecto al porcentaje de ocupación seleccionado
Impacto al PCG	kg CO ₂ eq/pkm	0.366434467	

Tabla 9. Valores y observaciones de los datos utilizados.

Parámetro	Unidad	Valor	Base de datos
Tren con 5-7 vagones		0.00001956947	Dato estimado
Uso de suelo	ha/viaje	0.02213013699	Dato estimado
Emisiones por uso de suelo	kg CO ₂ /viaje	26312.02471	Dato estimado
Electricidad(alto voltaje)	kWh/viaje	8665.517241	Dato estimado

Tabla 10. Variables de datos estimados por reestructuración del suelo.

Factor de emisión	Unidad de factor de	Base de datos de factor de emisión	PCG
		Ecoinvent v3,9,1	0
0		No aplica	0
1		No aplica	26312.02471
0.607	kg CO ₂ /kWh	Ecoinvent v3,9,1: Electricity, high voltage {MX} market for electricity, high voltage Cut-off, U	5259.968966

Tabla 11. Factor de emisión y base de datos..

Capítulo 5. CONCLUSIÓN

Este capítulo abarca lo aprendido durante el desarrollo del proyecto, las dificultades presentadas y la validación del cumplimiento de los objetivos iniciales.

1.1 Conclusiones

PENDIENTE

REFERENCIAS

Barragán, A., Barragán, A., & Barragán, A. (2023, 23 marzo). Activistas y habitantes de comunidades afectadas por el tren maya denuncian nuevos daños ambientales. *El País México*. Recuperado de: <https://elpais.com/mexico/2023-03-23/activistas-y-habitantes-de-comunidades-afectadas-por-el-tren-maya-denuncian-nuevos-danos-ambientales.html#:~:text=Los%20afectados%20califican%20la%20construcci%C3%B3n,biodiversidad%20y%20de%20las%20comunidades.>

Carrillo, E. (2022, 26 julio). *Tren Maya costará entre 15 y 20 mil mdd, hasta 8,200 mdd más de lo estimado*. Forbes México. Recuperado de:

<https://www.forbes.com.mx/tren-maya-costara-entre-15-y-20-mil-mdd-hasta-8200-mdd-mas-de-lo-estimado>

De Medio Ambiente Y Recursos Naturales, S. (s. f.). *Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental*. gob.mx. Recuperado de:

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

FONATUR. (2022). *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (MIA-R)*. PDF. Recuperado de:

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/camp/resumenes/2020/04CA2020V0009.pdf>

Greenpeace México. (2023, 26 julio). *Un tren sin frenos: impactos ambientales desconocidos del tren maya siguen generando controversia* - Greenpeace México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/52843/un-tren-sin-frenos-impactos-ambientales-desconocidos-del-tren-maya-siguen-generando-controversia/>

Human verification. (s. f.). Recuperado de:

<https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Tren-Maya-invierten-28528-millones-de-pesos-en-eletrificacion-de-vias-20230731-0056.html>

Mayaa, R. T. (2023, 8 agosto). Mayan Train Mexico: Advances, wagons and Job Bank 2023. *Tren Mayaa*. Recuperado de:

<https://trenmayaa.com/>

ONU-Habitat. (s. f.). *ONU-Habitat analiza el impacto del tren maya*. Recuperado de: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/onu-habitat-analiza-el-impacto-del-tren-maya#:~:text=El%20Tren%20Maya%20sacar%C3%A1%20de,a%2017.3%20millones%20de%20personas.>

Portal CFE. (s. f.). <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=4897>

Sánchez, A. G. (2020). ¿Qué es el impacto ambiental y cómo se mide? *MAPFRE*. Recuperado de: <https://www.mapfre.com/actualidad/sostenibilidad/impacto-ambiental/>

Tren Maya - CEMDA. (2020, 2 marzo). CEMDA. Recuperado de: <https://www.cemda.org.mx/tren-maya/>

Tren Maya | El Universal. (s. f.). El Universal. Recuperado de:

<https://www.eluniversal.com.mx/tag/tren-maya/>

Tren Maya. (s. f.). gob.mx. Recuperado de:

<https://www.trenmaya.gob.mx/>

ANEXO 1

Parámetro	Confianza	Compleitud	Correlación temporal	Correlación geográfica	Correlación tecnológica	Calidad promedio
Tren con 5-7 vagones	2	3	1	1	3	2
Uso de suelo	3	2	2	1	3	2.2
Emisiones por uso de suelo	2	3	2	2	3	2.4
Electricidad(alto voltaje)	2	1	3	1	1	1.6
						2.05

Figura 10. Resultado Matriz Pedigree.

