



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – PLANEACIÓN

UN SISTEMA DE INDICADORES PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA: SISIC

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

P R E S E N T A

ING. DANIEL CASTILLO CEDILLO

TUTOR

M. EN I. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ FES ARAGÓN UNAM

México D.F., septiembre 2016

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Idalia Flores Mota

Secretario: Dr. Daniel Velázquez Vázquez

Vocal: M. en I. Gilberto García Santamaría González

1^{er.} Suplente: Dra. Aida Huerta Barrientos

2^{do.} Suplente: Dr. Fernando Oscar Luna Rojas

Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado de Ingeniería

TUTOR DE TESIS:

M. en I. Gilberto García Santamaría González

Resumen

Este trabajo de investigación se desarrolla atendiendo las necesidades de sustentabilidad presentes en los procesos de construcción de los proyectos de infraestructura carretera en México. El problema que se aborda es la falta de un sistema de indicadores de sustentabilidad que permita evaluar proyectos de infraestructura carretera, para que instituciones públicas y privadas de México realicen la toma de decisiones idónea y mejoren la sustentabilidad en los procesos de construcción de los proyectos de infraestructura carretera. El objetivo general de la investigación es desarrollar un sistema de indicadores que permita evaluar la sustentabilidad de los proyectos de infraestructura carretera en México. La metodología para dar solución al problema abordado se basa en el desarrollo de un sistema de indicadores de sustentabilidad, caracterizado por 5 componentes (social, ambiental, económico, técnico y seguridad) y consta de 44 indicadores de sustentabilidad con los que se evaluarán proyectos de infraestructura sustentable de México. El desarrollo también incluye el diseño e implementación del software en lenguaje de programación Java para plataforma Windows denominado SISIC (Sistema de Indicadores de Sustentabilidad en la Infraestructura Carretera). El resultado general es la evaluación de dos proyectos de infraestructura carretera de México en el software SISIC, las Autopistas, Amecameca-Cuautla y México-Toluca. La evaluación determina el grado de sustentabilidad de los proyectos carreteros evaluados que sirven de apoyo para generar observaciones y recomendaciones pertinentes para la mejora de sustentabilidad aplicada a cada proyecto de infraestructura carretera, así se obtiene para la carretera Amecameca-Cuautla se obtiene un puntaje de 65% y para la carretera México-Toluca 71%.

Abstract

This research work develops present address the needs of sustainability in the processes of construction of road infrastructure projects in Mexico. The problem addressed is the lack of a system of sustainability indicators to assess road infrastructure projects, for public and private institutions of Mexico made making suitable decisions and improve sustainability in the processes of building projects road infrastructure. The overall objective of the research is to develop a system of indicators to assess the sustainability of road infrastructure projects in Mexico. The methodology to solve the problem addressed is based on the development of a system of sustainability indicators, characterized by five components: (social, environmental, economic, technical and safety) and consisting of 44 sustainability indicators that evaluate infrastructure projects sustainable of México. The development also includes the design and implementation of software in the Java programming language for Windows platform called SISIC (Sustainability Indicator System on Highway Infrastructure). The overall result is the evaluation of two road infrastructure projects Motorways Mexico, Amecameca and Cuautla - Mexico -Toluca in the SISIC software. The evaluation determines the degree of sustainability of the evaluated highway projects that support for generating observations and recommendations relevant for each road project infrastructure, so for obtained the road Amecameca - Cuautla un get 65% score for Carretera Mexico - Toluca 71 %.

Agradecimientos

A DIOS, por permitir que mis proyectos profesionales y académicos inicien y terminen satisfactoriamente.

A MIS PADRES, por la dicha de la vida, por el sacrificio en algún tiempo incomprendido, por el amor, paciencia, verdad, confianza y su mágica filosofía de vida, por entender mis proyectos profesionales, por su apoyo que hizo este sueño una realidad, gracias los amo.

A MI ESPOSA CYNTHI Y A MI HIJA MIA, porque son mi renovación constante, por la afinidad de nuestros objetivos y el mirar en la misma dirección, alentando con afecto, paciencia y amor el logro de una meta, por el apoyo moral, el tiempo productivo y la calidad humana, por el amor y cariño, las amo.

A MI HERMANO, por su apoyo en momentos difíciles.

A CONACYT, por creer en mí y tener el firme compromiso de otorgarme una beca durante mis estudios de maestría.

A LA DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS, por compartir su tiempo, paciencia y consejos oportunos en la mejora del contenido, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible la conclusión de este trabajo.

AL M. EN I. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ, por el apoyo en la dirección, revisión y contribución de este trabajo de tesis.

A LA UNAM, por la mágica experiencia de abrir sus puertas una vez más y otorgarme un incremento en conocimiento y virtudes que contribuirán en mi formación personal y profesional.

Índice	Página
Introducción.....	1
Capítulo I. Contextualizando el problema de la Infraestructura Sustentable	3
1.1. Planteamiento del problema a resolver	8
1.2. Objetivo General	9
1.3. Objetivos específicos	9
1.4. Estrategia de solución.....	10
Capítulo II. Sustentabilidad en proyectos de infraestructura.....	11
2.1. Sistemas y herramientas para evaluar la sustentabilidad de la Infraestructura carretera y mejores practicas internacionales.....	19
2.2. Sistema INVEST	21
2.3. Sistema GREEN ROADS	26
Capítulo III Diseño del Sistema SISIC.....	30
3.1. Indicadores del sistema SISIC.....	30
3.2. Manual de Instalación del Sistema SISIC	33
3.3. Manual de uso del sistema SISIC	45
3.3.1. Ventana de Inicio de la interfaz	45
3.3.2. Ventana de requerimientos del proyecto.....	47
3.3.3. Ventana de envío por correo electrónico.	48
3.3.4. Ventana de consulta de proyectos.....	49
3.3.5. Ventana de consulta de proyectos por nombre.....	49
3.3.6. Ventana de consulta de proyectos por responsable.....	50
3.3.7. Ventana consulta de proyectos por institución.	51

Capítulo IV. Validación del sistema SISIC en las Autopistas: Amecameca-Cuautla y México-Toluca.....	53
4.1. Descripción de la autopista Amecameca-Cuautla.....	53
4.2. Evaluación de la autopista Amecameca-Cuautla	56
4.3. Recomendaciones pertinentes para la Autopista Amecameca-Cuautla	58
4.2. Descripción Carretera Federal libre México-Toluca.....	62
Conclusiones generales y recomendaciones finales.....	68
Bibliografía.....	71

Índice	de	figuras
Página		
Figura 1. Sustentabilidad en infraestructura de transporte y logística		5
Figura 2. Esquema representativo de los criterios de sustentabilidad		7
Figura 3. Estrategia de solución al problema		10
Figura 4. Interfaz de inicio INVEST.....		22
Figura 5. Espacio de trabajo en el sistema de planeación para estados INVEST		23
Figura 6. Sistema INVEST, evaluación de proyecto piloto en módulo uno.....		25
Figura 7. Ingreso a Greenroads Rating System V2 Online		26
Figura 8. Ventana de Suscripción a Greenroads V2. Ingreso al Sistema de Evaluación		27
Figura 9. Sistema Green Roads interfaz.....		29
Figura 10. Criterios por evaluar, agrupados en 5 rubros.		31
Figura 11. Diagrama de flujo de programa SISIC		32
Figura 12. Archivo ejecutable de sistema operativo Windows en x32 yx64 bits.....		33
Figura 13. Ventana de Instalación Java SE Development.....		33
Figura 14. Ventana de Instalación personalizada Java SE Development		34
Figura 15. Ventana de instalación en proceso de Java SE Development.....		34
Figura 16. Ventana de la elección de la carpeta de destino y configuración final de Java SE Development		35
Figura 17. Ventana de proceso Java SE Development.....		35
Figura 18. Ventana de instalación exitosa de Java SE Development.....		36
Figura 19. Captura de pantalla de programa ejecutable mysql-installer-community-5.6.27.0.msi.....		36
Figura 20. Ventana de advertencia de paquete de instalación SQL.....		36
Figura 21. Proceso de configuración de paquetería MySQL.....		37
Figura 22. Ventana De Términos y condiciones de la licencia MySQL.....		38
Figura 23. Ventana de configuración MySQL.....		38
Figura 24. Ventana para checar requisitos		39
Figura 25. Ventana de componentes a instalar		39
Figura 26. Asignación del número de puerto y opciones avanzadas.....		40
Figura 27. Asignación de cuentas de Administrador.....		40
Figura 28. Ventana de opciones de servicios y verificación.....		41
Figura 29. Configuración del servidor		41
Figura 30. Ventana de confirmación para cambios aplicados		42

Figura 31. Ventana muestra la instalación completa	42
Figura 32. Copia del programa a archivos del programa.....	43
Figura 33. Carpeta dist.....	43
Figura 34. Acceso directo para ejecutar SISIC	44
Figura 35. Ventana de inicio SISIC.....	45
Figura 36. Ventana de datos del proyecto	45
Figura 37. Mensaje de error, existen campos vacíos.....	46
Figura 38. Mensaje de error, El costo debe ser expresado con números	46
Figura 39. Captura de pantalla de interfaz mostrando indicadores por evaluar, agrupados por rubros.....	47
Figura 40. Porcentaje proporcionado con base en el cumplimiento de los indicadores.....	48
Figura 41. Captura de pantalla de la interfaz que ejecuta la sentencia de envío por correo electrónico	48
Figura 42. Captura de pantalla de la interfaz consulta de proyectos	49
Figura 43. Captura de pantalla de la interfaz búsqueda de proyecto carretero por nombre	50
Figura 44. Ventana de búsqueda de proyecto por responsable	51
Figura 45. Captura de pantalla de la interfaz búsqueda por institución.....	52
Figura 46. Localización general de la Carretera México – Cuautla. Tramo Amecameca, ubicado en los límites de los estados de México y Morelos. Tramo del Km. 28+400 al KM 49+100.....	54
Figura 47. Dimensiones del proyecto carretero Amecameca-Cuautla.....	55
Figura 48. Ventana de la interfaz de inicio para la Evaluación de la Autopista Amecameca Cuautla.	56
Figura 49. Ventana de la Interfaz de Evaluación de Sustentabilidad en la Autopista Amecameca Cuautla.....	57
Figura 50. Ubicación general del Proyecto. Modernización del proyecto en color rojo.	62
Figura 51. Ventana de inicio de Evaluación de la Carretera México-Toluca con el sistema SISIC.....	63
Figura 52. Ventana de la Evaluación de la Carretera Federal libre México-Toluca.....	64

Índice	de	tablas
página		
Tabla 1.	Literatura sobre proyectos de infraestructura sustentable	12
Tabla 2.	Diferentes herramientas de Evaluación y Certificación	14
Tabla 3.	Diferentes definiciones de sustentabilidad entre diferentes herramientas de sustentabilidad.....	16
Tabla 4.	Recomendaciones para el Criterio Ambiental Autopista Amecameca-Cuautla	58
Tabla 5.	Recomendaciones para el criterio Económico Autopista Amecameca-Cuautla	59
Tabla 6.	Recomendaciones para el criterio Social Autopista Amecameca-Cuautla	59
Tabla 7.	Recomendaciones para el criterio Técnico Autopista Amecameca-Cuautla.....	60
Tabla 8.	Recomendaciones para el criterio ambiental de la Carretera Federal libre México-Toluca	65
Tabla 9.	Recomendaciones para el criterio Económico de la Carretera Federal libre México-Toluca.....	65
Tabla 10.	Recomendaciones para criterio social de la Carretera Federal libre México-Toluca.....	66
Tabla 11.	Recomendaciones en el criterio técnico de la Carretera Federal libre México-Toluca.....	66
Tabla 12.	Recomendaciones para el criterio seguridad de la Carretera Federal libre México-Toluca.....	67
Tabla 13.	Tabla de resultados por indicadores y autopistas.....	68

Introducción

El cambio climático es una problemática de índole global. En los últimos años los registros muestran que los impactos negativos han sido más devastadores; inundaciones, sequías, incremento de la temperatura promedio del planeta, por citar algunos ejemplos. Esta problemática se debe atender con el propósito de mitigar estos efectos, para que las generaciones futuras puedan satisfacer sus necesidades, como hasta ahora lo hacemos las presentes, así lo sugiere la definición de desarrollo sustentable Brundtland (1987). El concepto de sustentabilidad es utilizado en numerosas disciplinas y en contextos trascendentales. Es así como en este trabajo de tesis se aborda la sustentabilidad en el contexto de proyectos de infraestructura carretera.

Los proyectos de infraestructura se definen como bienes públicos que detonan el desarrollo económico, mejoran el bienestar social y son responsables con el medio ambiente. Estos proyectos son evaluados para obtener información en términos de sustentabilidad en las fases de planeación y diseño, construcción y operación y mantenimiento. Las mejores prácticas internacionales sugieren incluir sistemas muy sofisticados que permitan obtener un puntaje de sustentabilidad de los proyectos de infraestructura carretera. En consecuencia, para México la sustentabilidad es un concepto incipiente, de manera que se necesita trabajar en materia de sustentabilidad para garantizar que los proyectos de infraestructura cumplan los tres pilares del desarrollo sustentable (social, ambiental y económico). En este sentido, el problema que se pretende solucionar es la falta de un sistema de indicadores de sustentabilidad que permita evaluar proyectos de infraestructura carretera, para que instituciones públicas y privadas de México realicen la toma de decisiones idónea y mejoren la sustentabilidad en los procesos de construcción de los proyectos de infraestructura carretera. Esta tesis consta de cuatro capítulos, los cuales están organizados de la forma siguiente.

- a. En el Capítulo I, se describe el contexto del problema de Sustentabilidad en México, los ejes propuestos por el gobierno federal en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 que determinan garantizar el desarrollo sustentable. También se determina el problema que se pretende abordar, se plantea el objetivo general, así como los objetivos específicos y la estrategia de solución.
- b. En Capítulo II, se realiza la revisión de la literatura de proyectos de infraestructura y de los principales sistemas de sustentabilidad, se revisan las mejores prácticas internacionales y se identifican los socios que cuentan con sistemas de sustentabilidad para la evaluación de la infraestructura carretera, como son INVEST y GREENROADS y se determina el sistema de indicadores de sustentabilidad aplicable en México.
- c. En el Capítulo III, se desarrolla el software SISIC (Sistema de Indicadores de Sustentabilidad en Infraestructura Carretera) que incluye 44 indicadores que se sugiere son aplicables en México, divididos en 5 criterios (social, ambiental, económico, técnico y de seguridad).
- d. El Capítulo IV, muestra la evaluación realizada a dos carreteras de México Amecameca-Cuautla y México-Toluca.
- e. Al final se emiten las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo I. Contextualizando el problema de la infraestructura sustentable

En este capítulo se describe el contexto del problema de Sustentabilidad en México. También se determina el problema que se pretende abordar, se plantea el objetivo general, así como los objetivos específicos y la estrategia de solución. Actualmente estamos inmersos en problemas tan complejos que están rebasando nuestro nivel de análisis, por tanto, es necesario que nuestra capacidad evolucione, que nos anticipemos y seamos capaces de dar soluciones inmediatas y a futuro. En esta dirección, se percibe una problemática de índole internacional como es *el cambio climático*. En las últimas décadas, el cambio climático se ha conducido a niveles incomprensibles, basta revisar la literatura y darse cuenta de los problemas tan serios que esto ha ocasionado. En el último reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) por sus siglas en inglés menciona que el cambio climático es una permutación en el estado del clima y se identifica por el uso de análisis estadísticos, cambios en la media y/o variaciones en sus propiedades que permanece durante un largo tiempo. Y se puede dar por procesos internos o fuerzas externas (Pachauri et al., 2014). Sin embargo, las Naciones Unidas en la convención marco para el cambio climático lo definen como un cambio en el clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que afecta la composición de la atmósfera mundial y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Protocol, 1997). El cambio climático ha sido el resultado principal de un incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI). Esta concentración hoy en día alcanza las 400 partes por millón según el Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre (2013) colocándose 40% por encima de los valores medios registrados en el último medio millón de años (D. Luthi et. al., 2008). Lo anterior tiene como consecuencias, secuelas en la composición química atmosférica y el incremento en la temperatura promedio del planeta, esta última, según expertos podría llegar a sobrepasar los 4°C hacia finales de siglo. De darse

esta situación, la sociedad enfrentaría consecuencias ambientales, económicas, sociales, culturales, y de seguridad muy graves.

De acuerdo con la comunidad científica, es necesario que todos los países reduzcan las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. En relación a esta preocupación del cambio climático la respuesta se presenta de manera compartida en una negociación multilateral. La convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático tiene como objetivo consolidar las concentraciones de (GEI) en la atmósfera de manera tal que permita el desarrollo sustentable. El término desarrollo sustentable se encuentra en un contexto que da pie a la ambigüedad. Existe una gran cantidad de definiciones de desarrollo sustentable, entre las más citadas se encuentra la Comisión Brundtland (1987) y precisa: la humanidad tiene la capacidad para el desarrollo sustentable; para asegurar que se satisfagan las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Esta definición engloba tres grandes pilares; económico, social y ambiental. No es posible tener un desarrollo sustentable si no se estudia de manera sistémica, estos tres pilares. Es necesario que se trabaje en una planeación idónea que garantice el desarrollo sustentable de manera global. Es por ello que recientemente se han generado nuevas estrategias que permitieron que México adoptará en 2009, un Plan Especial sobre cambio climático que incluye una serie de acciones para alcanzar una reducción anual de los (GEI). La información sobre los impactos climáticos históricos, las tendencias socioecológicas y socioeconómicas, aunados a los fenómenos actuales de industrialización y urbanización, así como el uso indiscriminado y el consecuente deterioro de los recursos naturales, entre otros, representan un problema ambiental, social y económico que afecta a su población, infraestructura, sistemas productivos y ecosistemas los cuales seguirán agudizándose por los efectos del cambio climático. En ese contexto, la adaptación y cambio debe ser un componente central de cualquier esfuerzo de combate al cambio climático.

Actualmente en México se ha hecho énfasis en el desarrollo sustentable, sin embargo, las aportaciones son incipientes, en efecto, estas premisas se presentan de manera importante en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND).

La temática clave es el *desarrollo sustentable*, este se menciona como un eje transversal que tiene como propósito administrar eficiente y racionalmente los recursos naturales, mejorando la calidad de vida y bienestar de la población actual sin comprometer a las generaciones futuras. Y considera al desarrollo sustentable como base principal en las metas nacionales de México. Por ejemplo, en la Meta Nacional México Próspero se plantea el desarrollo sustentable en la infraestructura de transporte, con los siguientes objetivos: la seguridad vial, mejoramiento de la movilidad y la inversión impulsada por el sector público hacia la infraestructura de calidad, como lo muestra la Figura 1.

Figura 1. Sustentabilidad en infraestructura de transporte y logística



Fuente: Elaboración propia con base en el PND 2013-2018 de México

Como apoyo al PND 2013-2018, se encuentra el Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018 (PIITC), que tiene como prioridad impulsar los compromisos ante la sociedad mexicana en la realización de proyectos estratégicos y acciones congruentes encaminados al cumplimiento fundamental del desarrollo sustentable.

Como obras y acciones comprometidas destacan:

- ✚ La ampliación y conservación de la red carretera federal.
- ✚ La construcción y modernización de caminos, puentes, ferrocarriles, puertos y aeropuertos.
- ✚ El establecimiento de una rectoría de sistemas de transporte que mejore la movilidad urbana, reduzca los tiempos de traslado, abata los costos logísticos, mejore la seguridad de los usuarios y amplíe la cobertura social en telecomunicaciones.

En cuanto a la relación que tiene el desarrollo del transporte con la sustentabilidad es preciso incorporar conceptos que complementen las metas y compromisos para alcanzar el desarrollo sustentable en este ámbito. Para ello, se tiene a los principales referentes internacionales en sustentabilidad de carreteras los cuales serán una base para identificar y comparar los criterios de sustentabilidad en Proyectos de carreteras de México en un Marco Internacional como lo menciona (Mendoza, 2014). Los socios identificados son: La Federación de Carreteras de la Unión Europea quien en el 2009 desarrolló un documento que delimita cómo alcanzar una carretera sustentable en el futuro; las carreteras verdes (Green Roads) es un sistema diseñado por la Universidad de Washington para integrar la sustentabilidad en las carreteras nuevas, rediseñadas o rehabilitadas, mediante una distinción de sustentabilidad que ayuda a que las carreteras tengan menores impactos al medio ambiente, menores impactos en su costo del ciclo de vida y mayores beneficios para la sociedad; la Agencia Federal de Carreteras de los Estados Unidos, a través de su programa INVEST define a las carreteras sustentables como parte integral del desarrollo sustentable, es decir, una carretera sustentable debe satisfacer los requisitos funcionales del ciclo de vida del desarrollo social y el crecimiento económico, mejorando el entorno natural y reduciendo el consumo de recursos naturales. Los componentes que toman en cuenta los socios internacionales se explican a continuación:

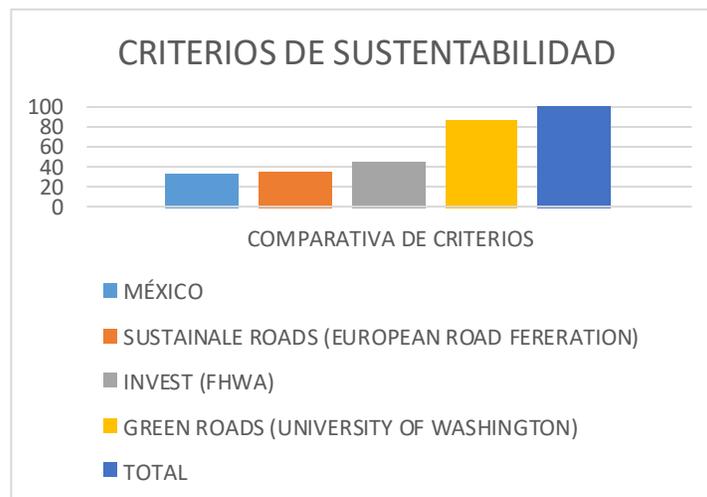
Figura 2. Esquema representativo de los criterios de sustentabilidad



Fuente: Elaboración propia con base en Mendoza (2014).

Se plantea que estos cinco componentes Económico, Social, Técnico, Ambiental y Seguridad cuentan con 57 criterios divididos en 5 componentes, partiendo de este argumento en México se consideran 19 de los 57 criterios que se proponen a nivel internacional como se puede observar en la gráfica 1.

Gráfica 1. Criterios de



Comparativa de sustentabilidad

Fuente: Adaptado de Mendoza (2014).

Como lo muestra la (gráfica 1) México tiene la posición más baja de criterios de sustentabilidad aplicados a la infraestructura carretera en comparación con los socios. Esto sin duda muestra el problema por atender, ya que si se pretende promover el desarrollo sustentable en el ámbito de la infraestructura carretera se deben tomar acciones que mejoren esta posición. Si bien Mendoza (2014) hace un esfuerzo por unificar componentes y criterios a partir de mejores prácticas y recomendaciones internacionales, este esfuerzo sigue sin estar en la realidad. De esta manera, en este trabajo se busca generar un nuevo sistema de indicadores el cual incluya de manera eficiente y equitativa criterios que sean representativos y aplicables en nuestro país. La necesidad de generar un sistema que garantice de manera incluyente el aspecto social, ambiental y económico es el objetivo principal de este trabajo de investigación. En términos de sistemas de indicadores sustentables, surgen las siguientes preguntas de investigación.

¿Cómo se evalúan en términos de sustentabilidad los proyectos de infraestructura carretera en México?

¿Existe en México un sistema de indicadores de sustentabilidad con base en el cual se evalúen los proyectos de transporte terrestre: carreteras y autopistas?

¿Cuáles son los criterios para construir un sistema de indicadores de sustentabilidad que evalúe proyectos de infraestructura carretera?

1.1. Planteamiento del problema a resolver

En México no existe un sistema de indicadores para evaluar la sustentabilidad de proyectos de infraestructura carretera utilizado como instrumento en la toma de decisiones de instituciones públicas y privadas que participen en la planeación y ejecución de proyectos de infraestructura carretera. En consecuencia, se producen impactos negativos en lo social, ambiental y económico que no contribuyen al desarrollo sustentable.

1.2. Objetivo General

Desarrollar e implementar un sistema de indicadores para evaluar la sustentabilidad de proyectos de infraestructura carretera en México.

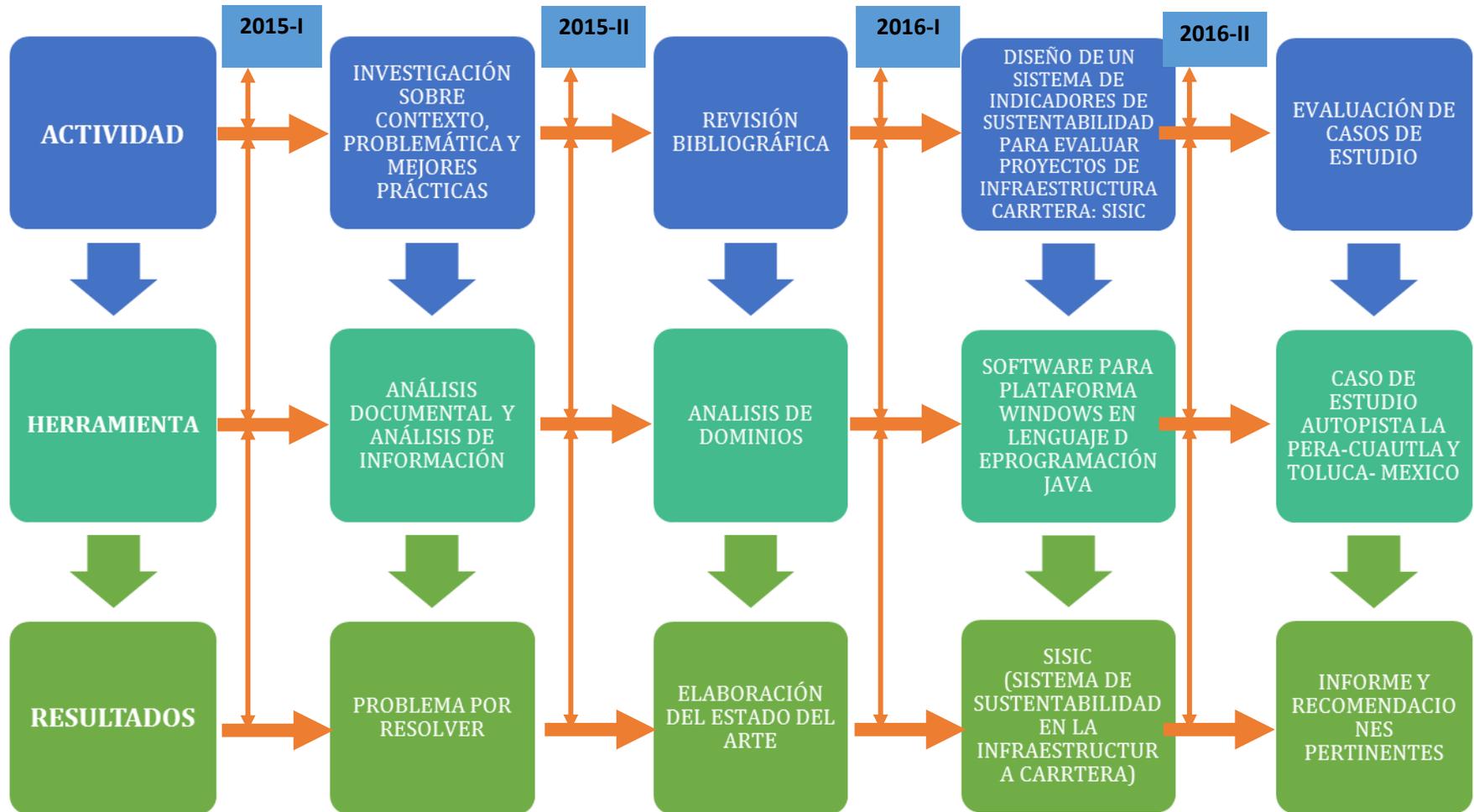
1.3. Objetivos específicos

- a. Revisar la literatura sobre los sistemas de indicadores de sustentabilidad aplicados a proyectos de infraestructura carretera.
- b. Diseñar un sistema de indicadores para evaluar la sustentabilidad de proyectos e infraestructura carretera denominado SISIC.
- c. Implementar el sistema de indicadores en un software.
- d. Validar el sistema de indicadores mediante los casos de las carreteras: Amecameca- Cuautla y México-Toluca.

1.4. Estrategia de solución.

La estrategia de solución que se propone en el presente trabajo de investigación es la que se muestra en la figura 3.

Figura 3. Estrategia de solución al problema



Fuente: Elaboración propia (2016).

Capítulo II. Sustentabilidad en proyectos de infraestructura

En este capítulo se realiza la revisión de la literatura de proyectos de infraestructura y de los principales sistemas de sustentabilidad, se revisan las mejores prácticas internacionales y se identifican los socios que cuentan con sistemas de sustentabilidad para la evaluación de la infraestructura carretera, así de esta manera se identifican a dos socios comerciales, INVEST y GREENROADS dando la pauta para determinar el sistema de indicadores de sustentabilidad aplicable para México.

Un proyecto de infraestructura es una especie de bien público en el que la política del gobierno tiene un papel importante para influir en los efectos del proyecto sobre el desarrollo económico y las necesidades sociales. El término infraestructura cubre una amplia gama de servicios, desde los servicios públicos tales como la energía, las telecomunicaciones, abastecimiento de agua, saneamiento y alcantarillado, recogida de residuos sólidos y la eliminación, y el gas por cañería; al público obras como carreteras, represas y canales obras, ferrocarriles, transporte urbano, puertos y vías fluviales y aeropuertos (Banco Mundial,1994). Es necesario mencionar que existe una amplia gama de autores que abordan la sustentabilidad en una gran diversidad de sectores. En la Tabla 1, se muestra literatura con perspectivas diversas de planeación y evaluación aplicadas a la sustentabilidad en proyectos de infraestructura. Es necesario mencionar que los proyectos que son de interés abordan perspectivas de transporte. En general estos enfoques nos permiten tener una visión más extensa del trabajo que se hace para planear, ejecutar y evaluar los proyectos de infraestructura global, también nos permiten ver que indicadores son los más aceptados en la línea de la infraestructura sustentable.

Tabla 1. Literatura sobre proyectos de infraestructura sustentable

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Liyin Shen, Yuzhe Wu and Xiaoling Zhan (2011).

Indicadores de sustentabilidad seleccionados	Autores	Perspectiva
Sustentabilidad económica, sustentabilidad social, seguridad tecnológica, atractivo para vivir, atractivo para las empresas.	Timmermans & Beroggi, 2000	Planeación de proyectos de infraestructura
Gasto anual de agua dulce anual / volumen anual disponible, uso del agua per cápita/día, proyectos de tratamiento de agua desempeño, el uso de químicos para tratamiento de agua potable y de los residuos.	Lundin & Morrison, 2002	Proyectos de infraestructura hídrica urbanos
Requisitos técnicos mínimos de los proyectos de solución; costes de inversión, operación y mantenimiento; la utilización óptima de los recursos; requisitos institucionales y aceptación	Balkema et al. 2002	Proyectos de infraestructura de aguas residuales
Emisiones de CO2 y SO2 per cápita y per GWh, Índices del desempeño del sistema de electricidad, la distribución de las cifras de consumo de electricidad en toda la población, el consumo total de electricidad por el PIB y por pérdidas cápita, la cartera de electricidad, transmisión y distribución	Rosenthal 2004	Proyectos de infraestructura de electricidad

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Liyin Shen, Yuzhe Wu and Xiaoling Zhan (2011).

Tabla 1. Literatura sobre proyectos de infraestructura sustentable (continuación)

Indicadores de sustentabilidad seleccionados	Autores	Perspectiva
Eficiencia económica, duración de tren y carreteras principales, pasajeros/kilometro, emisiones de CO2 per cápita por uso de la energía del transporte, heridas de muerte, accidentes, población residencial expuestos al ruido del tráfico externo	Jeon & Amekudzi 2005	Proyectos de infraestructura de transporte
Uso de materiales de construcción, uso de energía y agua, costos de inversión, operación y mantenimiento, gastos de investigación y cambio en el desarrollo, rendimiento en función de la construcción, accesibilidad, aceptabilidad de la salud y seguridad	Sahely et al. 2005	Los edificios, el transporte, y el agua proyectos de infraestructura de suministro
Fiabilidad de la electricidad, seguridad del petróleo, eficiencia energética, calidad ambiental	Brown & Sovacool 2007	Políticas de energía en proyectos de infraestructura
Costo inicial, costo del ciclo de vida, grado de adquisición de tierras, grado de pérdida de hábitat o zonas de alimentación, grado de invasión de las áreas afectadas, quejas de los partidos locales/pueblos	Ugwu & Haupt 2007	Proyectos de infraestructura Ingeniería civil
Crecimiento del PIB, efecto sobre el medio ambiente expresado en los costos externos, efecto en el mercado del trabajo, la equidad, la innovación tecnológica, y la seguridad de proveer energía	Klevas et al. 2009	Proyectos de infraestructura de energía

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Liyin Shen, Yuzhe Wu and Xiaoling Zha (2011).

La Federación Internacional de Ingenieros Consultores (2012), menciona que los sistemas de clasificación y herramientas de certificación se producen típicamente por instituciones gubernamentales o no gubernamentales acreditadas, a veces en colaboración con el mundo académico. Están destinadas a evaluar, comparar y certificar una instalación existente o prevista, en función de su rendimiento frente a los criterios de sustentabilidad pertinentes. La Tabla 2 muestra las herramientas más importantes de certificación de sustentabilidad en los ámbitos de transporte, edificios e infraestructuras en general. Los detalles relativos a la zona de procedencia también se definen en la tabla.

Tabla 2. Diferentes herramientas de Evaluación y Certificación

HERRAMIENTA	INSTITUCIÓN	SECTOR	CIUDAD DE ORIGEN
CEEQUAL	INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES (ICE)	TODA LA INFRAESTRUCTURA	REINO UNIDO
ENVISION	INSTITUTO DE INFRAESTRUCTURA SUSTENTABLE (ISI) Y UNIVERSIDAD DE HARVARD	TODA LA INFRAESTRUCTURA	ESTADOS UNIDOS
IS	CONSEJO AUSTRALIANO DE INFRAESTRUCTURA VERDE	TODA LA INFRAESTRUCTURA	AUSTRALIA
BEAM	CONSEJO DE CONSTRUCCIÓN VERDE DE HONG KONG	EDIFICIOS	HONG KONG
BERDE	CONSEJO DE CONSTRUCCION VERDE DE FILIPINAS	EDIFICIOS	FILIPINAS
BREEAM	ORGANIZACIÓN DE INVESTIGACION DE LA CONSTRUCCION (BRE)	EDIFICIOS	REINO UNIDO
CASBEE	CONSORCIO DE LA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE DE JAPON	EDIFICIOS	JAPON
GBI	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CONSULTORES DE MALASIA Y EL INSTITUTO DE ARQUITECTOS DE MALASIA	EDIFICIOS	MALASIA
GREENMARK	AUTORIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICIOS DE SINGAPORE	EDIFICIOS	SINGAPORE

GREEN STAR	CONSEJO AUSTRALIANO DE CONSTRUCCIÓN VERDE	EDIFICIOS	AUSTRALIA
GREEN STAR SA RATING TOOLS	CONSEJO DE CONSTRUCCION VERDE DE SUDAFRICA	EDIFICIOS	SUDAFRICA
LEED	CONSEJO DE CONSTRUCCIÓN VERDE DE LOS ESTADOS UNIDOS	EDIFICIOS	ESTADOS UNIDOS
SUSTAINABLE COMMUNITY RATING	GOBIERNO DE VICTORIA	EDIFICIOS	AUSTRALIA
GREENLITES	DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DEL ESTADO DE NUEVA YORK	TRANSPORTE	ESTADOS UNIDOS
GREENROADS	UNIVERSIDAD DE WASHINGTON T CH2MHILL	TRANSPORTE	ESTADOS UNIDOS
I-LAST	DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE ILLIONOIS	TRANSPORTE	ESTADOS UNIDOS
INVEST	DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE LA ADMINISTRACIÓN FEDERAL DE CARRETERAS	TRANSPORTE	ESTADOS UNIDOS
STARS	OFICINA DE TRANSPORTE DE PORTLAND	TRANSPORTE	ESTADOS UNIDOS

Fuente: Adaptada de autores basados en la Federación Internacional de Ingenieros Consultores (2012).

Como Gambaste y Rajendran (2005) mencionan: la construcción de carreteras consume grandes cantidades de energía y materiales naturales; produce residuos y genera gases de efecto invernadero, con impactos negativos para el medio ambiente. En consecuencia, se ha desarrollado un creciente interés en la introducción de la sustentabilidad en los proyectos de carreteras. En este sentido, los sistemas de calificación que evalúan la sustentabilidad de la construcción de carreteras actualmente se están desarrollando e incluyen: Greenroads, Green LITES (Dirección verde en Transporte sustentable del medio ambiente), INVEST (Herramienta de Infraestructura Voluntaria de Evaluación de la Sustentabilidad), I-LAST (Transporte habitable y sustentable) y STARS (Análisis de Transporte Sustentable y Sistema de Evaluación).

La calificación del sector de transporte y herramientas de certificación basan sus marcos de las carreteras en sus propias definiciones de sustentabilidad. La Tabla

3, proporciona un breve resumen de las diferentes definiciones de sustentabilidad entre las diferentes herramientas que son más relevantes para las carreteras. Estas definiciones pueden ser útiles para entender lo que quieren decir con herramientas de certificación de sustentabilidad, especialmente en la definición de proyectos viales.

Tabla 3. Diferentes definiciones de sustentabilidad entre diferentes herramientas de sustentabilidad

HERRAMIENTA DE SUSTENTABILIDAD	DEFINICION DE SUSTENTABILIDAD/SUSTENTABILIDAD EN INFRAESTRUCTURA CARRETERA
GREENLITES	Un sistema de transporte que soporta una sociedad sustentable es aquel que (i) permite el transporte individual y social, cumpla de una manera consistente con la salud humana y los ecosistemas, con equidad entre las generaciones; (ii) es seguro, asequible, accesible, opera de manera eficiente, ofrece una elección de modos de transporte, y es compatible con una economía vibrante; y (iii) protege y preserva el medio ambiente mediante la limitación de las emisiones del transporte y desechos, reduce al mínimo el consumo de recursos y mejora el entorno existente como sea posible.
GREENROADS	La sustentabilidad es una característica del sistema que refleja su capacidad para apoyar las leyes naturales y los valores humanos. <i>Las leyes naturales</i> abarcan la idea esencial de la ecología, que es el estudio de los ecosistemas. Del mismo modo, los <i>valores humanos</i> incluyen tanto la equidad y la economía.
INVEST	El objetivo de la sustentabilidad es satisfacer las necesidades sociales y económicas básicas, presentes y futuras, y el uso responsable de los recursos naturales, a la vez que se mantiene o mejora el bienestar del medio ambiente del que depende la vida. La sustentabilidad en las carreteras debe abordarse con el entendimiento de que las carreteras son una parte de la infraestructura de transporte, y el transporte es un aspecto para satisfacer las necesidades humanas.
I-LAST	I-LAST utiliza la definición de la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas de la sustentabilidad. En concreto, el

	<p>I-LAST, identifica los siguientes objetivos para proporcionar características sustentables en el diseño y construcción de proyectos de carreteras: (1) minimizar los impactos a los recursos ambientales, (2) reducir al mínimo el consumo de recursos materiales, (3) reducir al mínimo el consumo de energía, (4) preservar o mejorar el contexto histórico, paisajístico y estético de un proyecto de la carretera, (5) integrar los proyectos de carreteras en la comunidad de una manera que ayuda a preservar y mejorar la vida de la comunidad, (6) fomentar la participación de la comunidad en el proceso de planeación de transporte, (7) fomentar la integración de los medios no motorizados de transporte en un proyecto de la carretera, (8) encontrar un equilibrio entre lo que es importante: a la función de transporte de la instalación, a la comunidad, al medio ambiente natural, y es económicamente viable y (9) fomentar el uso de enfoques nuevos e innovadores para alcanzar estos objetivos.</p>
<p>STARS</p>	<p>El transporte sustentable (i) permite a las necesidades básicas de acceso de los individuos y la sociedad en general a ser con seguridad y de manera compatible con la salud humana y del ecosistema y con equidad dentro y entre las generaciones; (ii) resulta asequible, opera con eficacia, ofrece una elección de modos de transporte y apoya una economía vibrante; y (iii) limita las emisiones y los residuos dentro del planeta para absorberlos, reduce al mínimo el consumo de recursos no renovables, limita el consumo de recursos renovables al nivel de rendimiento sostenible, reutiliza y recicla sus componentes, y reduce al mínimo el uso de la tierra y la producción de ruido.</p>

Fuente: Adaptado de autores de la tabla (2012).

Las definiciones disponibles tienden a concentrarse en los mismos principios. La línea inferior es utilizada por diferentes instrumentos de evaluación de la sustentabilidad para identificar los aspectos clave que permiten a los proyectos de carreteras apoyar la sustentabilidad. Como se muestra en la Tabla 3, tradicionalmente se han aceptado herramientas de sustentabilidad que tienen que ser aplicados a proyectos viales. Un diseño de la infraestructura vial sustentable requiere un buen equilibrio entre el medio ambiente, el costo y los aspectos sociales. En teoría, un proyecto de la carretera debería incluir estos principios para

ser considerado un *diseño verde*. En este sentido, como se ha señalado por la Administración Federal de Carreteras, un camino sustentable debe incorporar diversos conceptos tales como la protección del medio ambiente, el buen manejo de los fondos, la mejora de la calidad del aire, incentivos a la calidad de la construcción, promoción de reciclaje, la equidad social, y el uso del sistema de gestión ambiental.

Entonces, hay esquemas de calificación específicos para la evaluación de la sustentabilidad de los edificios, proyectos de construcción de carreteras y obras de ingeniería civil. Los sistemas de clasificación de ingeniería civil se basaron en los esquemas de clasificación de edificios, que están más establecidos. La filosofía de los sistemas de clasificación se basa en diferentes categorías, cada una de las cuales explica un atributo de sustentabilidad y abarca diferentes temas en subcategorías. Los sistemas de clasificación son útiles para clasificar, marcar y comparar proyectos, pero ya que se centran en los aspectos ambientales y generalmente se limitan al proceso de construcción, se puede suponer que no se aplican a todos los conductores de sustentabilidad de los proyectos de carreteras. Por otra parte, los modelos no se basan en métodos estandarizados de medición del desempeño. Cada método incorpora sus propios criterios. En términos generales, en los marcos y sistemas de la perspectiva integral de la vida es rara vez considerada excepto en el manejo de material. Por otra parte, ninguno de ellos especifica el aspecto social, aunque los aspectos sociales son relevantes en mayor o menor medida. Es así como se concluye que las herramientas para medir la sustentabilidad en proyectos carreteros son relativas en los aspectos que evalúan. Por ello se tiene la pauta para poder desarrollar un sistema de sustentabilidad aplicable al contexto mexicano que nos permita evaluar el grado de sustentabilidad de los proyectos de infraestructura carretera.

2.1. Sistemas y herramientas para evaluar la sustentabilidad de la Infraestructura carretera y mejores prácticas internacionales.

La sustentabilidad en los proyectos de infraestructura carretera debe abordarse con el entendimiento de que las carreteras son una parte de la infraestructura de transporte, y el transporte es un aspecto que debe satisfacer las necesidades humanas, además de abordar las necesidades ambientales y los recursos naturales, el desarrollo de una carretera sustentable debe centrarse en el acceso, no sólo en la movilidad, sino en proporcionar a las personas opciones de transporte, como rutas seguras y confortables para caminar, propiciar el uso de la bicicleta y el tránsito. Es por ello que el transporte sustentable se puede describir o definir de muchas maneras que abordan ampliamente los impactos ambientales, sociales, económicos, de seguridad, y accesibilidad de los servicios de transporte. Las agencias de transporte hacen frente a la sustentabilidad a través de una amplia gama de iniciativas, habitabilidad, crecimiento inteligente, calles completas, reciclaje, planificación y medio ambiente y otros requisitos de direccionamiento de la Ley Nacional de Política Ambiental de los E (NEPA). Los procesos de planeación de transporte que incorporan valores e integran los elementos de sustentabilidad deben ser la base de partida para poner en práctica las decisiones de sustentabilidad como proyecto. Estas medidas de éxito de los proyectos incluyen una amplia gama de indicadores en los cuales destacan los ambientales, sociales, económicos, de seguridad y técnicos. Con base en esto surgen las siguientes preguntas:

¿Por qué medir la sustentabilidad en la infraestructura carretera?

La medición de la sustentabilidad puede ayudar con la evaluación de los desarrollos (económico, social, ambiental), fomentar una amplia participación de las partes interesadas, la evaluación de las compensaciones de sustentabilidad, reunir o anticipar nuevas necesidades, encontrar barreras programáticas, premiando la excelencia y la comunicación de los beneficios y objetivos.

La medición de la sustentabilidad permite a las organizaciones realizar un seguimiento y evaluar el progreso resultante de sus esfuerzos de sustentabilidad e inversiones. Existen Herramientas que nos permiten establecer medidas estándar cualitativas para la sustentabilidad permitiendo a las agencias, las organizaciones, los administradores de programas y los administradores de proyectos establecer objetivos de sustentabilidad, dar seguimiento al avance, y aplicar estrategias de gestión.

¿Cómo se mide la sustentabilidad en la infraestructura carretera?

La sustentabilidad se mide mediante la evaluación de desempeño de los tres pilares social, ambiental, y principios económicos. Mientras que un tratamiento equilibrado de los tres es una meta ideal, no siempre es alcanzable.

Como la sustentabilidad se ha ganado la atención en las últimas décadas, las organizaciones están poniendo más énfasis en la forma de medir la sustentabilidad. Un método para medir la sustentabilidad de las carreteras es evaluar un programa o proyecto con las mejores prácticas existentes. Las mejores prácticas internacionales de sustentabilidad van más allá de los requisitos básicos. Utilizando la sustentabilidad como un indicador general significa una expansión de la estructura de información de negocio tradicional tomando en cuenta el desempeño social y ambiental, además de los resultados económicos (la línea del triple botón). Estos tres principios claves deben ser medidos. Se debe proporcionar un sistema de medición que garantice que las organizaciones desarrollen herramientas de medición-organización específicas, que la industria y las mejores prácticas internacionales ayuden a alcanzar el equilibrio adecuado entre los sistemas sociales, ambientales y principios económicos. Mientras que el equilibrio de los principios de la línea del triple botón nos ayuda a lograr la sustentabilidad en una meta ideal, también es cierto que puede ayudar a guiar el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, este objetivo de obtener el equilibrio se hace más factible cuando se aplican estos principios a través de una cartera de

proyectos o para un programa o de las operaciones de planificación de todo el sistema y programa de mantenimiento.

¿Qué pasa con los objetivos del proyecto?

Los proyectos de autopistas y carreteras están construidas y operadas por muchas razones diferentes y están diseñados para lograr muchas metas diferentes. La sustentabilidad puede ser pensada como un abanico que abarca múltiples objetivos de proyectos de transporte eficaces: seguridad, movilidad, protección del medio ambiente, comunidades habitables, gestión de activos y otros muchos objetivos, todos tienen un lugar en la sustentabilidad. Es un objetivo importante a través del cual se puede visualizar un proyecto de transporte, y permite a las agencias de transporte y los patrocinadores del proyecto tomar decisiones que beneficien el futuro, así como el presente. La idea de la sustentabilidad no limita el valor o la importancia puesta en objetivos individuales para un proyecto u organización. Las decisiones sobre las políticas, proyectos y operaciones deben considerar el equilibrio de los principios de sustentabilidad, pero no hay necesidad de hacerlo para cada decisión. A continuación, se explican dos sistemas para evaluar la sustentabilidad en infraestructura carretera.

2.2. Sistema INVEST

INVEST (Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool, Herramienta de Evaluación Sustentable Voluntaria para la Infraestructura), fue desarrollada por la Administración Federal de Carreteras (FHWA) por sus siglas en inglés con la ayuda de CH2M Hill y se lanzó en 2012 (FHWA, 2012). Fue diseñada para ser fácil de usar y utilizar, una interfaz libre, basada en la web. Se divide de acuerdo a las siguientes fases del proyecto: planeación de sistemas, desarrollo de proyectos, operaciones y mantenimiento (FHWA, 2012).

Figura 4. Interfaz de inicio INVEST



Fuente: FHWA (2015).

El sistema ofrece cuadros de mando para: Básico Rural, Básica Urbana, Rural extendida, Urbano extendido y Personalizado. Los interesados pueden diseñar una costumbre, cuadro de mando específico del proyecto en las situaciones en que un proyecto no se ajusta a cuadros de mando predefinidos. Los criterios en el marco del sistema de calificación INVEST se definen de acuerdo a las mejores prácticas sustentables. Ellos son de una de tres categorías: de entrega de proyectos y planificación del sistema y los procesos (17 criterios), desarrollo de proyectos (20 o 29 criterios en función de si se utiliza tarjeta de puntuación básica o extendida), y operaciones y mantenimiento (14 criterios). Los criterios en el desarrollo del proyecto se ponderan en función de su impacto sustentable relativo. Todos los criterios en Operaciones y Mantenimiento y planificación de sistemas tienen el mismo valor de 15 puntos cada uno, con la excepción de los criterios de bonificación en Planificación de Sistemas, que las redes de un máximo de 10 puntos (FHWA, 2012).

El sistema genera preguntas que requieren respuestas de los administradores del proyecto. Sobre la base de las respuestas dadas, un proyecto recibe una puntuación para cada criterio y una puntuación global se anota en evaluar todo el proyecto. El proyecto recibe una puntuación global Bronce, Plata, Oro y Platino. Debido a la falta de un tercer evaluador partido, este premio sirve como reconocimiento oficial por la FHWA (FHWA, 2012).

Figura 5. Espacio de trabajo en el sistema de planeación para estados INVEST

Title	Version	Primary ID	Secondary ID	Year	Design Phase	Score	Status	Rating
UNAM				2015		15	🔒	🟢

Fuente: FHWA (2015).

Los elementos del programa se describen a continuación.

a. Título

Corresponde con el título de cada criterio y el número de criterio. Se compone por el nombre del módulo (SP de Planificación del Sistema, PD para el Desarrollo de Proyectos, y OM de Operaciones y Mantenimiento) seguido de un único número.

b. Objetivo

Describe el propósito general de cada criterio en una declaración concisa que refleje el concepto más amplio.

a. Score Card Gráfico

Sólo el gráfico de cuadro de mando permite al lector saber de cuál de los cuadros de mando estáticos (pavimentación, Básico Rural, Básica Urbana, Rural extendido o urbanos extendido) aparecen con los criterios. Las cinco opciones de cuadro de mando se muestran, con una marca de verificación en la casilla a la izquierda si el criterio es parte del cuadro de mando.

b. Vinculación de Sustentabilidad

Esta sección describe cada criterio y considera una buena práctica sustentable mediante la descripción de cómo afecta a los principios de la línea de los pilares triples. Solamente los beneficios considerados primarios y secundarios se describen, beneficios secundarios terciarios y otros pueden ser evidentes, pero no están incluidos en esta relación.

c. Línea de Afectación Gráfica del Triple Botón

A través de la utilización de anillos de colores, este gráfico indica cómo cada criterio contribuye a la sustentabilidad mediante la indicación de los impactos primarios y secundarios a los principios de la línea de fondos triples (sociales, ambientales y económicos). Un anillo gris indica un principio triple no afectado.

d. Requisitos de Puntaje

En esta sección se detallan los requisitos del criterio y de la estructura de división del punto.

e. Recursos

Referencias en el documento están numeradas con superíndices y la información de referencia se consolida en la sección Recursos.

Además, se incluyen también referencias que no se hace referencia, pero pueden ser útiles en Recursos para muchos criterios.

f. *Fuentes de puntuación*

Esta sección enumera la documentación de apoyo, tales como cálculos e informes, necesarios para validar el resultado seleccionado para cada criterio. Estas fuentes pueden ser grabadas utilizando la función *Scoring Notas* o la función Cargar Documentos de apoyo en el web-herramienta de puntuación.

Así se aprecia el sistema INVEST ya que se ha evaluado el proyecto, se muestra un score que indica el rango de sustentabilidad en el cual se encuentra el proyecto de infraestructura.

Figura 6. Sistema INVEST, evaluación de proyecto piloto en módulo uno

My Workspace Logged in as Daniel Castillo

Logout

Version 1.2

search

About Learn Criteria Score Resources

Workspace > UNAM

System Planning for States (SPS) Scorecard

Version 1.2

Program or Process: UNAM [edit](#)

[View full scorecard](#) to save or print from your browser.

[Output CSV](#)

Criteria	Points
<input checked="" type="radio"/> SPS-01 Integrated Planning: Economic Development and Land Use (for States) Integrate statewide and metropolitan Long Range Transportation Plans (LRTP) with statewide, regional, and/or local land use plans and economic development forecasts and goals. Proactively encourage and facilitate sustainability through the coordination of transportation, land use, and economic development planning.	15/15
<input type="radio"/> SPS-02 Integrated Planning: Natural Environment (for States) Integrate ecological considerations into the transportation planning process, including the development of long range transportation plans (LRTP), corridor plans, and the STIP. Proactively support and enhance long-term ecological function through the coordination of transportation and natural resource planning.	0/15
<input type="radio"/> SPS-03 Integrated Planning: Social (for States) The agency's Long Range Transportation Plan (LRTP) is consistent with and supportive of the community's vision and goals. When considered in an integrated fashion, these plans, goals and visions support sustainability principles. The agency applies context-sensitive principles to the planning process to achieve solutions that balance multiple objectives to meet stakeholder needs.	0/15

Score

15

Your Rating: Not Rated

72 points needed for Bronze

96 points needed for Silver

120 points needed for Gold

144 points needed for Platinum

[Scoring Tutorial](#)

Snapshots

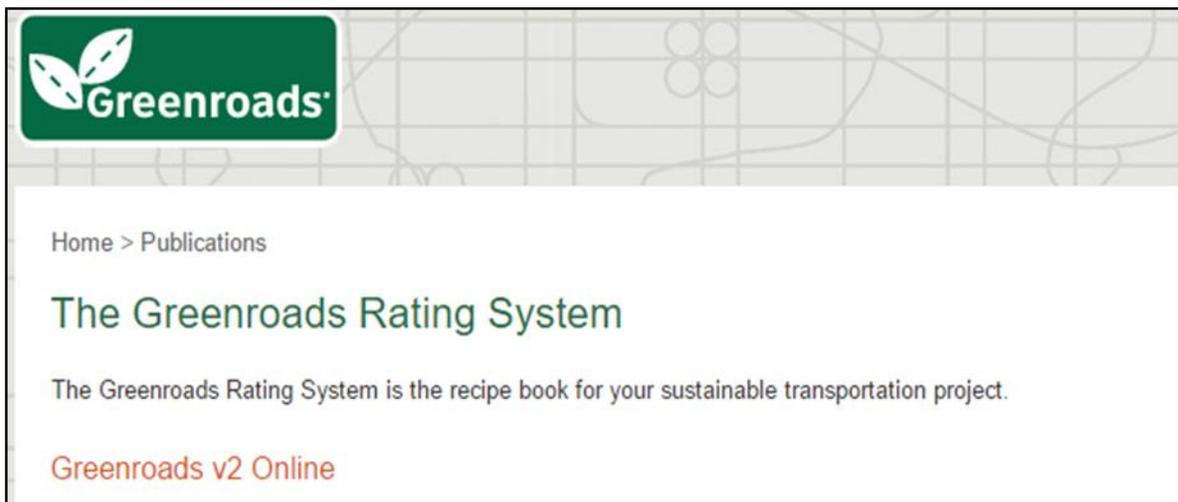
You may elect to periodically store full static copy of your scorecard here.

Fuente: FHWA (2015).

2.3. Sistema GREEN ROADS

El sistema de calificación de sustentabilidad Greenroads fue desarrollado por CH2M HILL y la Universidad de Washington en 2009 (Greenroads, 2012). Greenroads estimula la sustentabilidad en la construcción de carreteras mediante la concesión de créditos a los proyectos que han incorporado con éxito las mejores prácticas sustentables. El programa es de uso exclusivo online, y se ingresa por la página principal, dirigiéndose a publicaciones para posteriormente dar click en Greenroads v2 Online, como lo muestra la Figura 7.

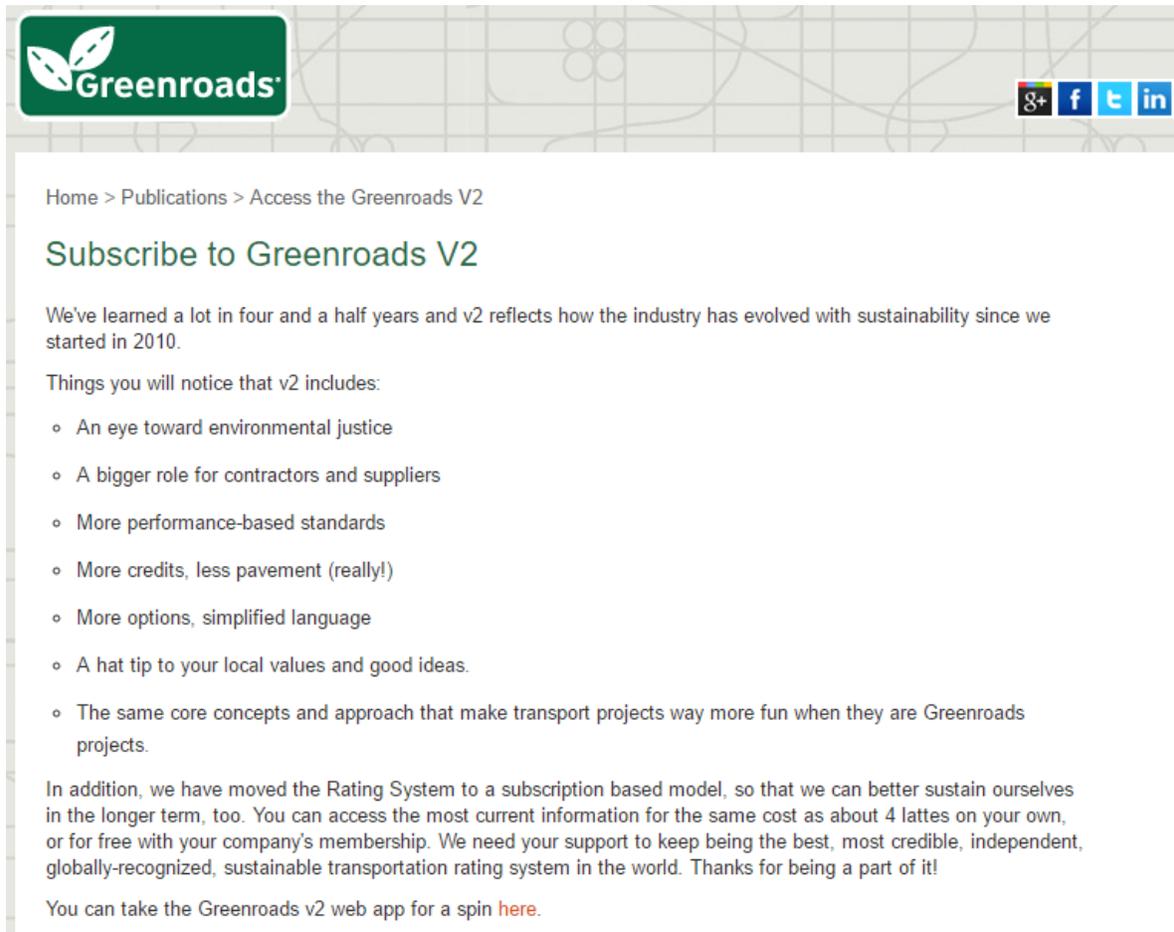
Figura 7. Ingreso a Greenroads Rating System V2 Online



Fuente: Greenroads (2016).

Greenroads v2 Online muestra una ventana donde explica de manera breve lo que ofrece su evaluación, las ideas y conceptos que los diferencia, las aportaciones que hacen a los proyectos carreteros. Sugiere una suscripción para poder mejorar los proyectos a ejecutar y poder evaluar de una manera más detallada todos los indicadores de un proyecto de infraestructura carretera en particular. Y por último hacen la invitación para poder ingresar a evaluar los proyectos carreteros. Véase Figura 8.

Figura 8. Ventana de Suscripción a Greenroads V2. Ingreso al Sistema de Evaluación



Fuente: Greenroads (2016).

Greenroads proporciona un medio holístico para considerar y evaluar la sustentabilidad carretera de nueva construcción, reconstrucción y rehabilitación a través de un método cuantitativo que informa a la toma de decisiones (Greenroads, 2012). También se ocupa de las operaciones y mantenimiento a través de un Plan de Operaciones y Mantenimiento, que se evalúa cuando el proyecto ya se construyó. El sistema no se aplica a mantenimiento diario de las carreteras (Greenroads, 2011). Los criterios establecidos en el sistema de calificación sustentable se dividen en dos categorías: necesaria y voluntaria.

Cada proyecto debe cumplir con los 11 requisitos del proyecto: proceso de revisión ambiental, análisis de costo del ciclo de vida, inventario del ciclo de vida, plan de control de calidad, plan de mitigación de ruido, plan de gestión de residuos, plan de prevención de la contaminación, desarrollo de bajo impacto, sistema de gestión de pavimentos, plan de mantenimiento del sitio y extensión educativa. La mayoría de los criterios requeridos son derivados de códigos o leyes; y no presentan una carga adicional para el equipo del proyecto. Además, hay seis categorías voluntarias de crédito que son: medio ambiente y agua (8 criterios), acceso y equidad (9 criterios), actividades de construcción (8 criterios), materiales y recursos (6 criterios), Tecnologías de pavimento (6 criterios) y Créditos personalizados (2 criterios). Todos los criterios tienen como objetivo inspirar a la acción hacia un mayor nivel de sustentabilidad de la construcción mediante la tecnología y las herramientas actuales. Después de que se cumplen los requisitos del proyecto, se seleccionan créditos voluntarios, documentados, y sometidos a Greenroads para una revisión de terceros (Greenroads, 2012). Cada crédito se pesa por Greenroads en una escala de 1.5 en función de su potencial para influir en la sustentabilidad de los proyectos.

Existen cuatro niveles de reconocimiento para el sistema Greenroads: Bronce (32-42 puntos voluntarios de crédito), Plata (43-53 puntos voluntarios de crédito), Gold (54-63 puntos voluntarios de crédito) y de hoja perenne (64 puntos de crédito al alza voluntarias). La herramienta se puede utilizar en las carreteras y conceptualmente en puentes, túneles y otras estructuras asociadas con obras similares. Es basado en la web y se puede utilizar durante todo el ciclo de vida del proyecto (Greenroads, 2012). La Figura 9 muestra la interfaz del software Greenroads v2 Online.

Figura 9. Sistema Green Roads interfaz

Greenroads v2 Project Checklist

Project Name * City, State/Province, Country Project Manager

Project Budget (million USD) Current Status

Target Score: 0

Bronze SilverGold Evergreen
Requirements: No

Email
Send a complete copy of this checklist to yourself.
Your email

Project Requirements	Y ? N	Materials & Design	Attempting	My Score
PR-1 Ecological Impact Analysis	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	MD-1 Preservation & Reuse 1-5 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PR-2 Energy & Carbon Footprint	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	MD-2 Recycled & Recovered Content 1-5 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PR-3 Low Impact Development	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	MD-3 Environmental Product Declarations 2 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PR-4 Social Impact Analysis	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	MD-4 Health Product Declarations 2 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PR-5 Community Engagement	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	MD-5 Local Materials 1-5 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PR-6 Lifecycle Cost Analysis	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	MD-6 Long-Life Design 1-5 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PR-7 Quality Control	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>			
PR-8 Pollution Prevention	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>			
PR-9 Waste Management	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>			
PR-10 Noise & Glare Control	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>			
PR-11 Utility Conflict Analysis	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>			
PR-12 Asset Management	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>			
Environment & Water	Attempting	My Score	Attempting	My Score
EW-1 Preferred Alignment 3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-1 Utility Upgrades 1-2 points	<input type="text"/>
EW-2 Ecological Connectivity 1-3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-2 Maintenance & Emergency Access 1 point	<input type="text"/>
EW-3 Habitat Conservation 1-3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-3 Electric Vehicle Infrastructure 1-3 points	<input type="text"/>
EW-4 Land Use Enhancements 1-3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-4 Energy Efficiency 1-3 points	<input type="text"/>
EW-5 Vegetation Quality 1-3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-5 Alternative Energy 1-3 points	<input type="text"/>
EW-6 Soil Management 1-3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-6 Lighting & Controls 1-3 points	<input type="text"/>
EW-7 Water Conservation 1-3 points	<input type="text"/>	<input type="text"/>	UC-7 Traffic Emissions Reduction 1-3 points	<input type="text"/>

Fuente: Green Roads (2016).

De esta manera, el principal interés de analizar estos sistemas se basa principalmente en la aplicación de Proyectos de Infraestructura Carretera en México. Estos sistemas INVEST, GREENROADS no son aplicables a otras regiones o países, son de uso exclusivo para EEUA. Además, cada uno maneja sus criterios acordes a su contexto y conveniencia de los expertos y tomadores de decisiones, sus componentes tienen vínculos de igualdad, pero se aplican diferente en sus módulos a los que refieren. Sería pertinente que se incluya indicadores socioculturales y que se puedan llevar a un nivel jerárquico superior, pudiéndolos aplicar con un enfoque meta heurístico.

En consecuencia, se tiene la oportunidad de poder desarrollar un sistema de indicadores de sustentabilidad en la infraestructura carretera aplicable a México, que sirva como apoyo en la toma de decisiones. El desarrollo se basa en el área de oportunidad que se genera al analizar los sistemas que son socios de nuestro país. Es así como en el capítulo siguiente se desarrollará un sistema de indicadores de sustentabilidad para la evaluación de los proyectos de infraestructura carretera, denominado SISIC.

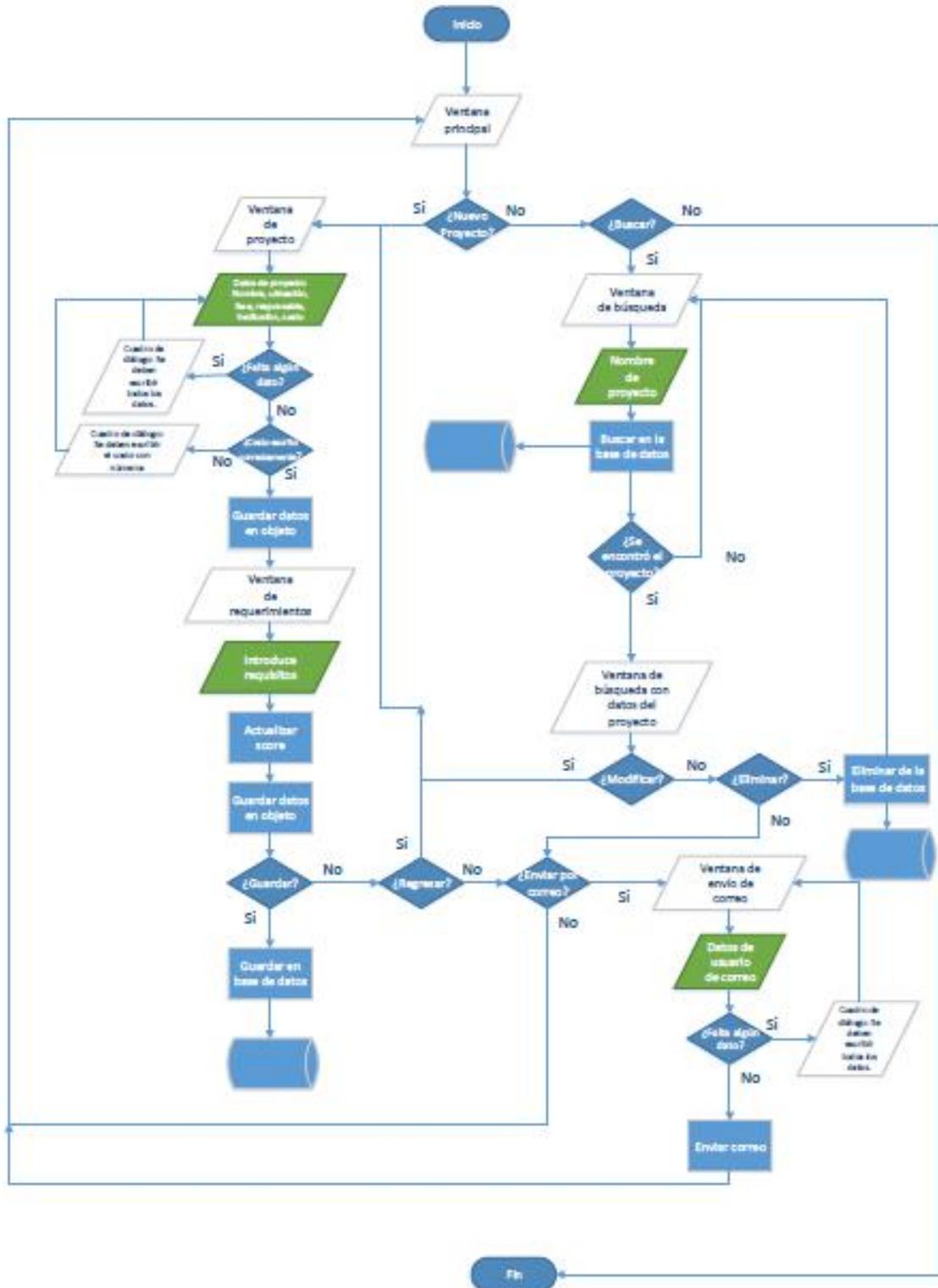
En el Capítulo III se explican los pasos y el desarrollo del sistema, así como su metodología de evaluación.

Capítulo III Diseño del Sistema SISIC

3.1. Indicadores del sistema SISIC

En este capítulo se presenta el sistema denominado SISIC, que significa (Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para la Infraestructura Carretera). De esta manera se desarrolla el sistema que incluye 44 indicadores de sustentabilidad, agrupados en 5 criterios generales; Social, Ambiental, Económico, Técnico y de Seguridad, como lo muestra la Figura 10.

Figura 11. Diagrama de flujo de programa SISIC

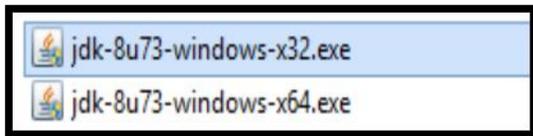


Fuente: Elaboración propia (2016).

3.2. Manual de Instalación del Sistema SISIC

1. De la carpeta Programas ejecutar el archivo jdk-8u73-windows-x32 o jdk-8u73-windows-x64 dependiendo de si el sistema operativo donde se va a instalar es de 32 o 64 bits.

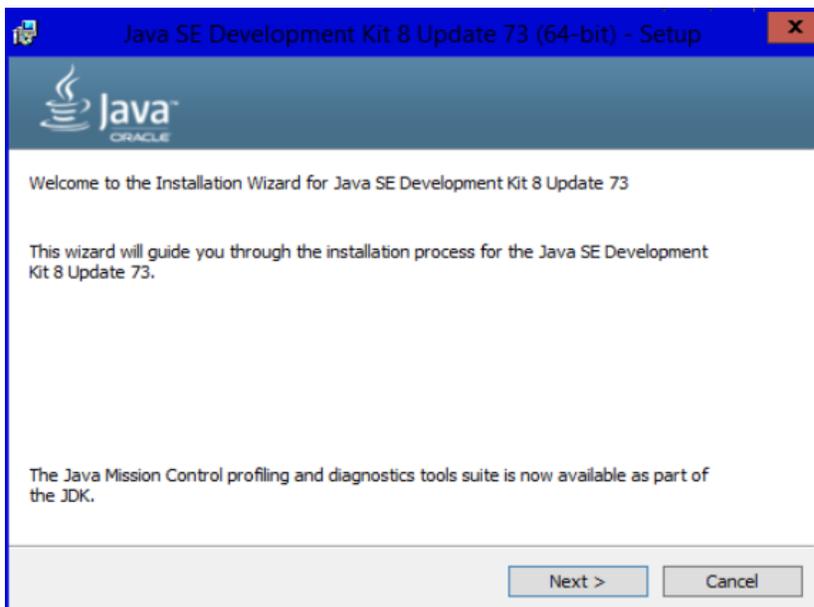
Figura 12. Archivo ejecutable de sistema operativo Windows en x32 yx64 bits



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016).

2. Si el software pide autorización para realizar cambios, hacer click en sí.
3. Hacer click en Next en la siguiente ventana.

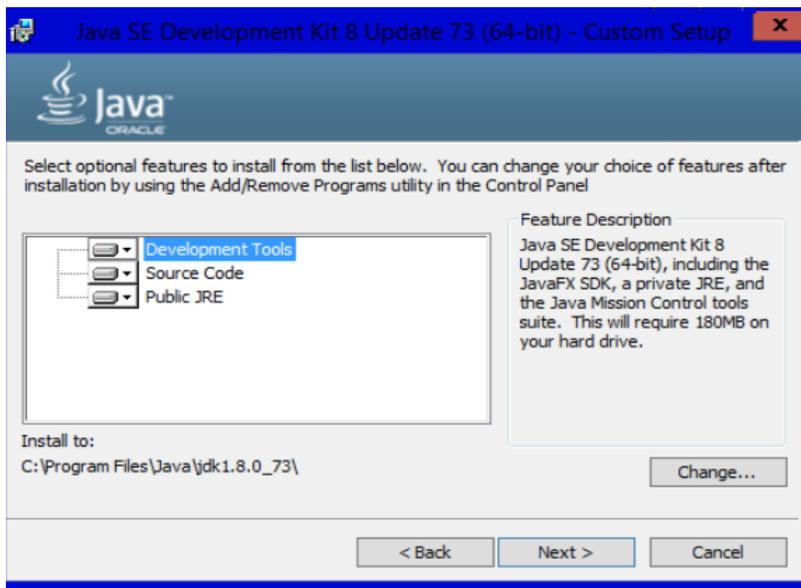
Figura 13. Ventana de Instalación Java SE Development



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016).

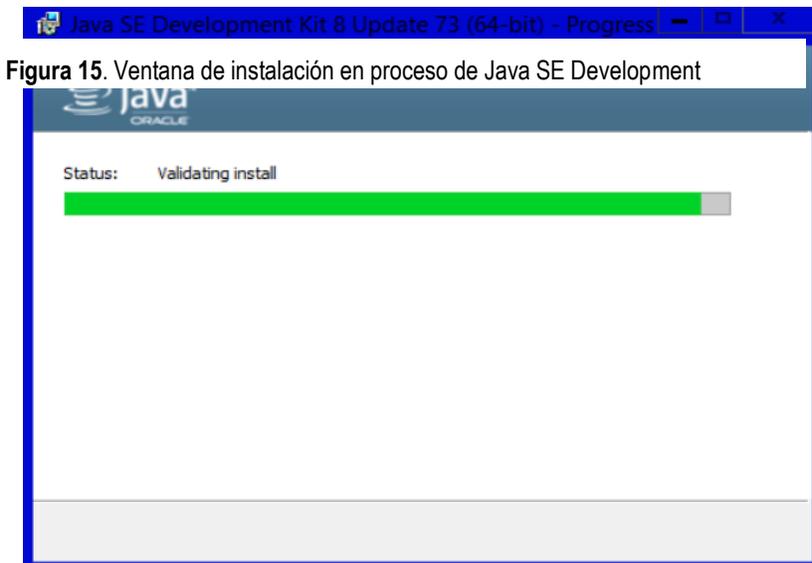
4. En la siguiente ventana hacer click en Next.

Figura 14. Ventana de Instalación personalizada Java SE Development



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016).

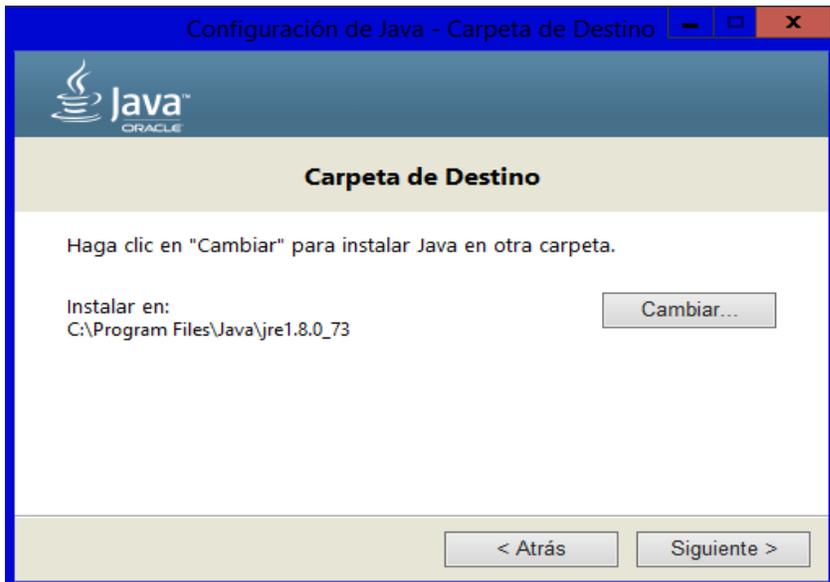
5. Esperar a que se configure el instalador.



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016).

6. De la instalación actual se abre otra ventana, pasarse a esa ventana y dejar la carpeta que viene por defecto, dar click en siguiente.

Figura 16. Ventana de la elección de la carpeta de destino y configuración final de Java SE Development



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016)

7. Esperar a que termine la instalación. Al finalizar la ventana se cierra sola. Ir a la primera ventana.

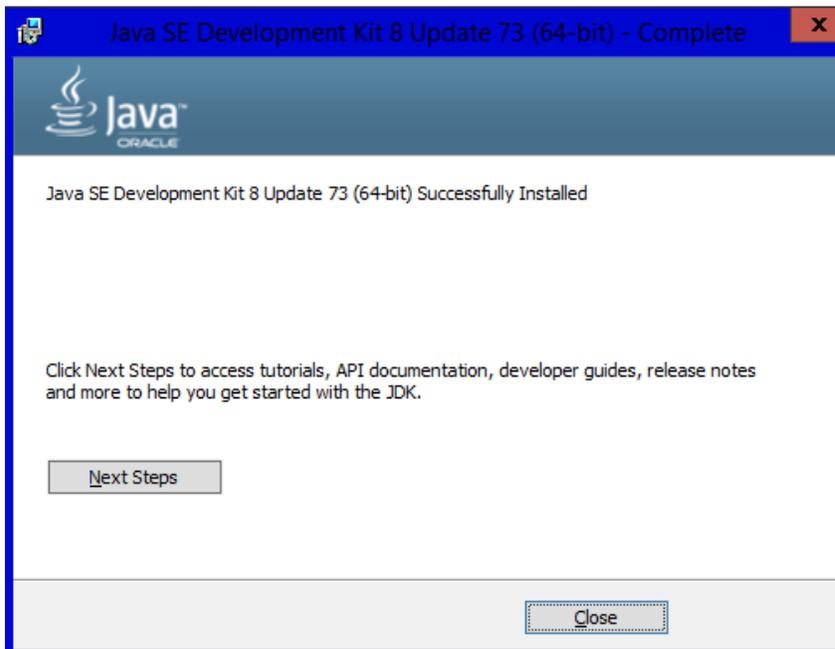
Figura 17. Ventana de proceso Java SE Development



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016).

8. Dar click en Close.

Figura 18. Ventana de instalación exitosa de Java SE Development



Fuente: Elaboración propia basado en Java SE Development (2016).

9. Ejecutar el archivo `mysql-installer-community-5.6.27.0.msi` que se encuentra en la carpeta Programas.

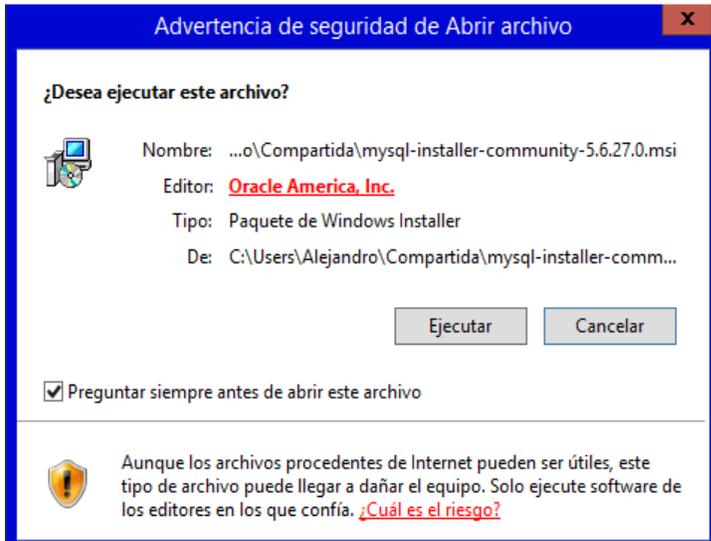
Figura 19. Captura de pantalla de programa ejecutable `mysql-installer-community-5.6.27.0.msi`



Fuente: Elaboración propia con base en `mysql-installer` (2016).

10. En caso de que se muestre una advertencia, dar click en el botón "Ejecutar".

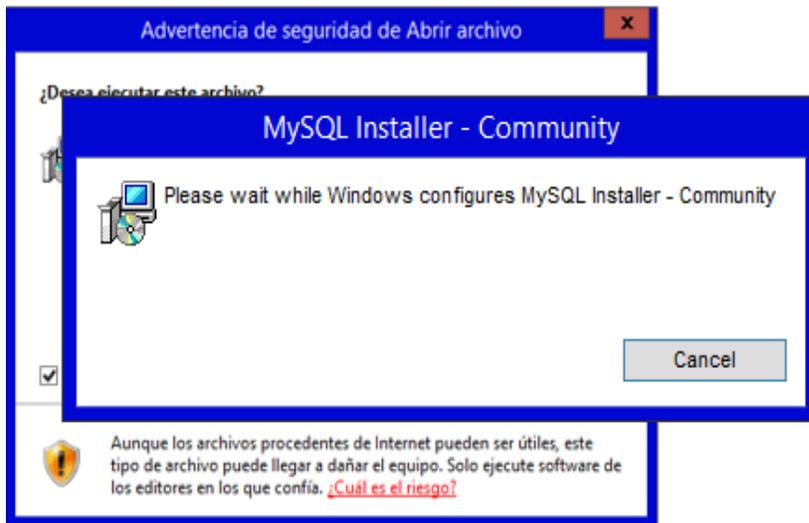
Figura 20. Ventana de advertencia de paquete de instalación SQL



Fuente: Elaboración propias con base en Oracle América (2016).

11. Esperar a que Windows configure el instalador.

Figura 21. Proceso de configuración de paquetería MySQL

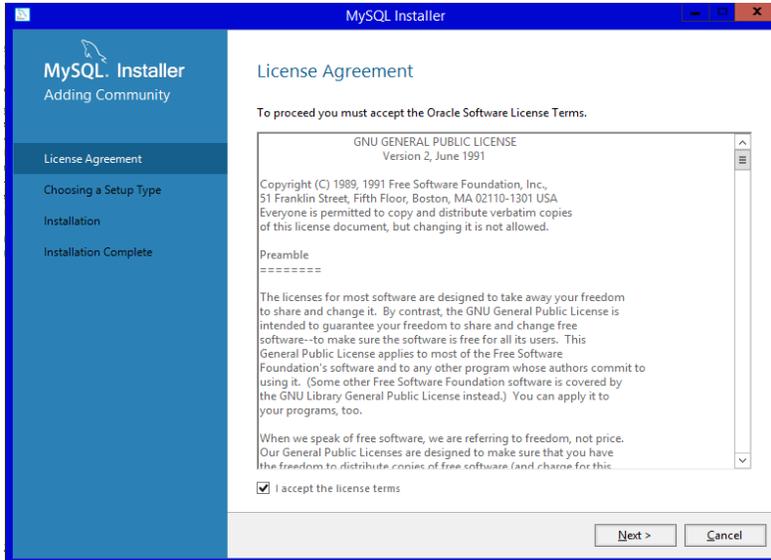


Fuente: Elaboración propia con base en MySQL (2016).

12. En caso de que pida permiso de administrador, dar click en *Permitir*.

13. En la siguiente ventana hay que marcar la casilla *I agree the license terms* y dar click en Next.

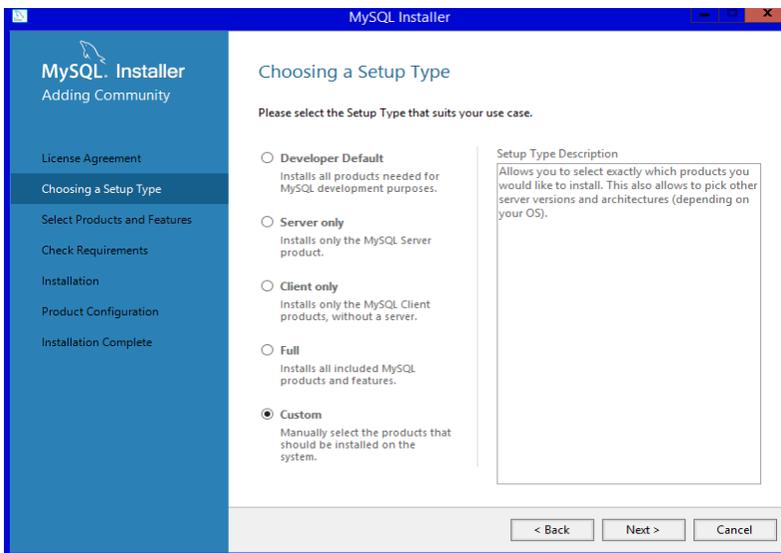
Figura 22. Ventana De Términos y condiciones de la licencia MySQL



Fuente: Elaboración propia con base en MySQL (2016).

14. Seleccionar la opción *Server only* y dar click en el botón *Next*.

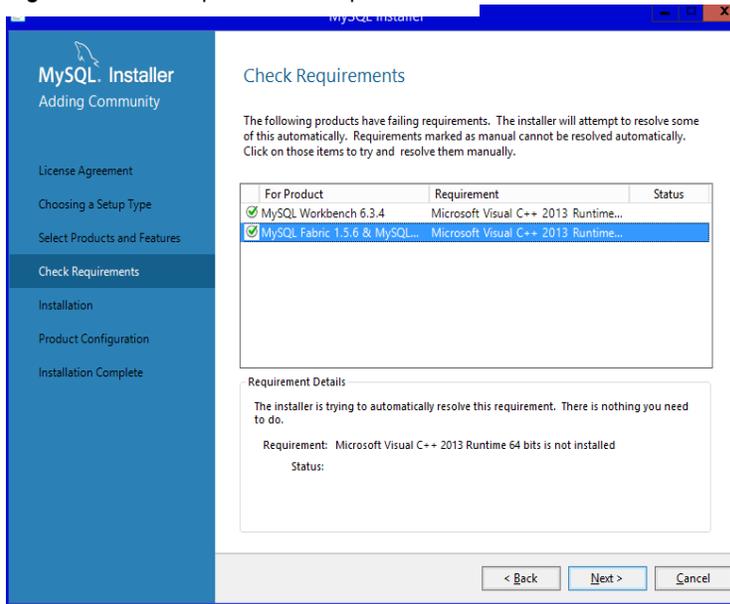
Figura 23. Ventana de configuración MySQL



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

15. En la siguiente ventana dar click en "Next"

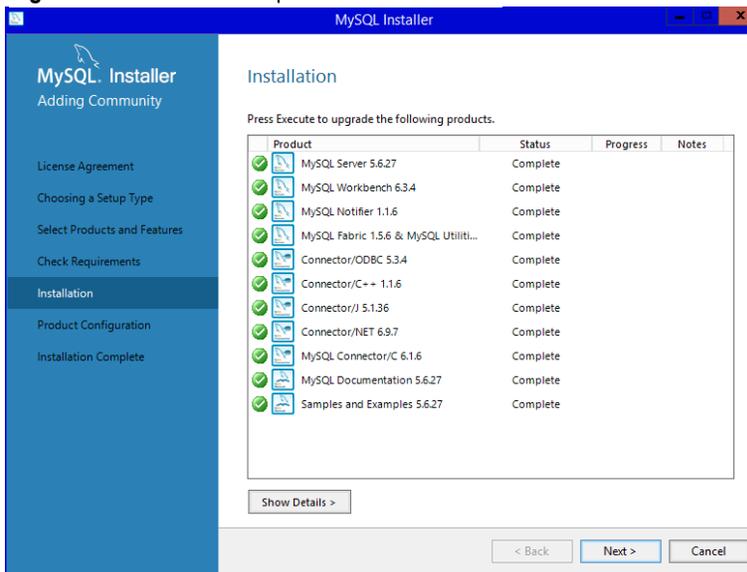
Figura 24. Ventana para checar requisitos



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

16. En la siguiente ventana dar click en *Install*. Cuando termine dar click en *Next*.

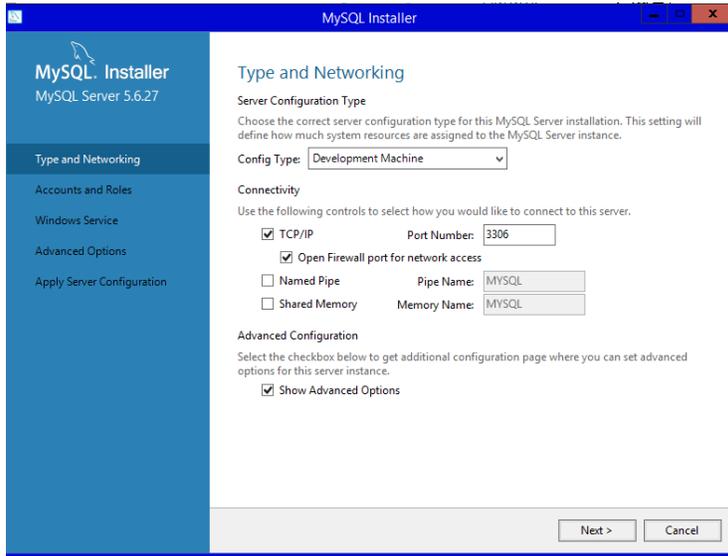
Figura 25. Ventana de componentes a instalar



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

17. En la siguiente ventana hay que verificar que el *Port Number* tenga asignado el número 3306. Una vez confirmado, marcar *Show Advanced Options*. Dar click en *Next*.

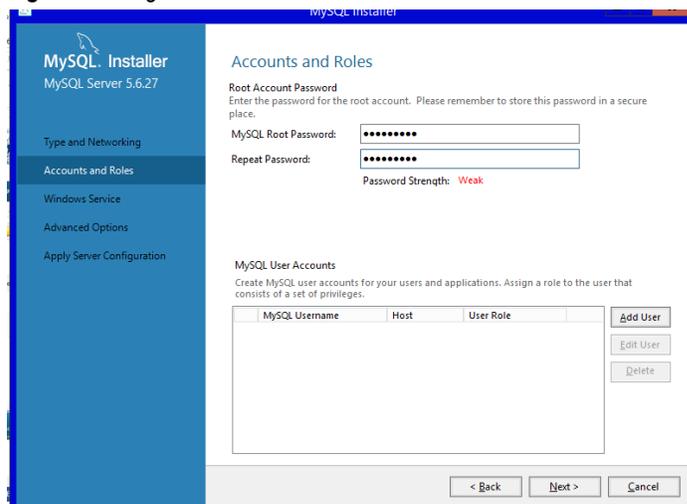
Figura 26. Asignación del número de puerto y opciones avanzadas



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

18. En este paso la ventana pide ingresar una contraseña. La contraseña es *passadmin*. Escribir la misma contraseña en ambos cuadros y dar click en *Next*.

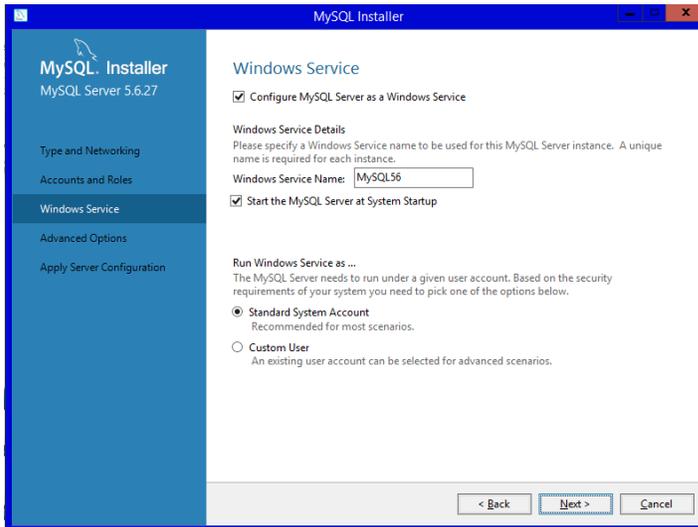
Figura 27. Asignación de cuentas de Administrador



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

19. Verificar que las opciones se muestren como lo muestra la Figura 24, posteriormente dar click en *Next*.

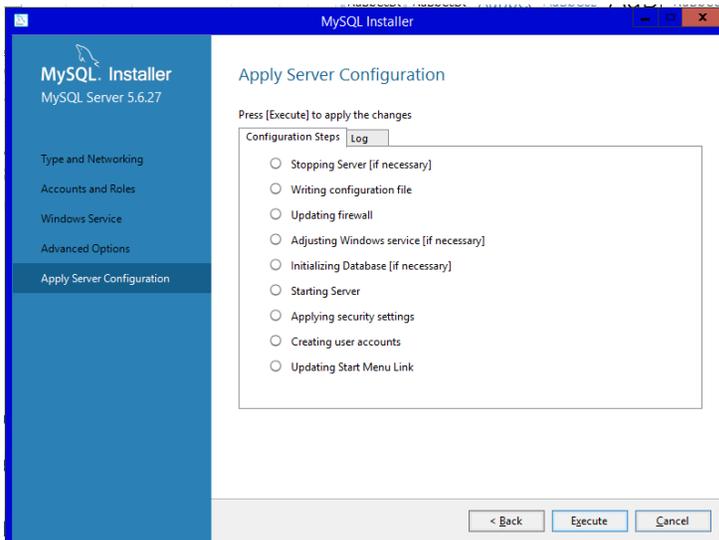
Figura 28. Ventana de opciones de servicios y verificación



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

20. Dar click en *Ejecutar* y esperar a que el instalador termine de configurar el programa.

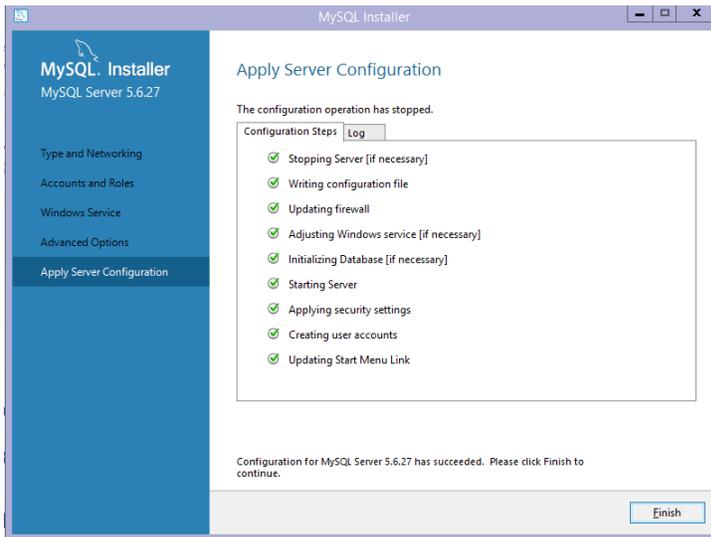
Figura 29. Configuración del servidor



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

21. Cuando aparezca la ventana que muestra que fueron aplicados los cambios, dar click en *Finish*.

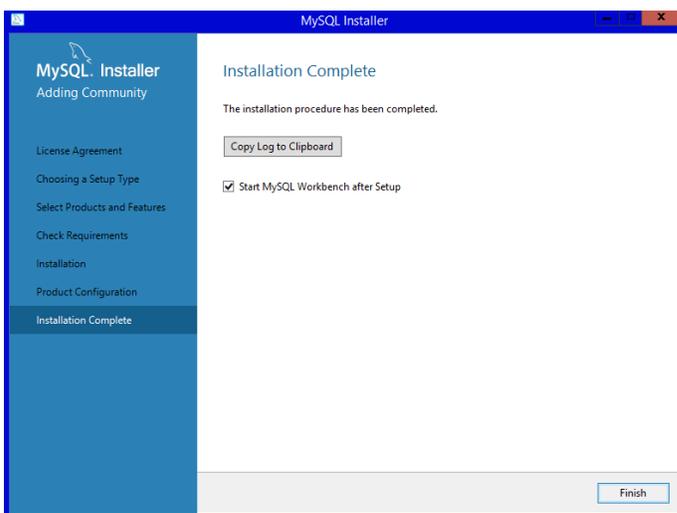
Figura 30. Ventana de confirmación para cambios aplicados



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

22. Para comprobar que solo se instaló el servidor; la opción *Start MySQL Workbench after Setup* no se muestra. Dar click en *Finish*.

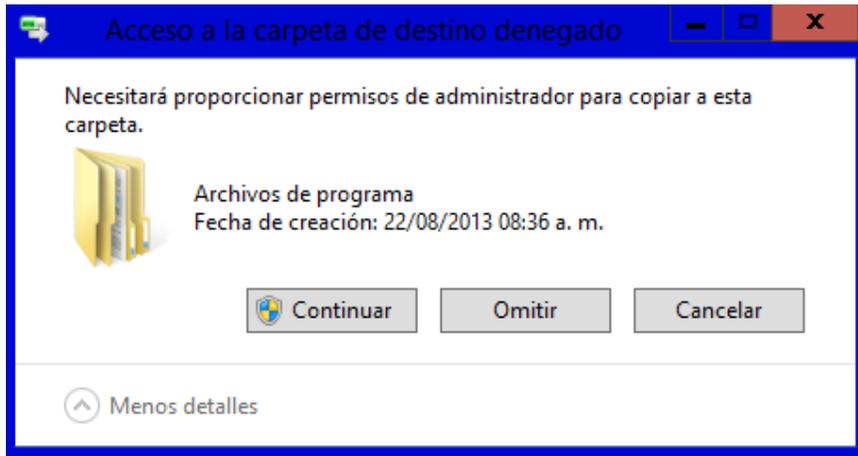
Figura 31. Ventana muestra la instalación completa



Fuente: Elaboración propia basado en MySQL (2016).

23. Copiar la carpeta SISIC, que contiene el programa en la ruta C://Archivos de programa. Se debe de tener permisos de administrador, dar click en *Continuar*.

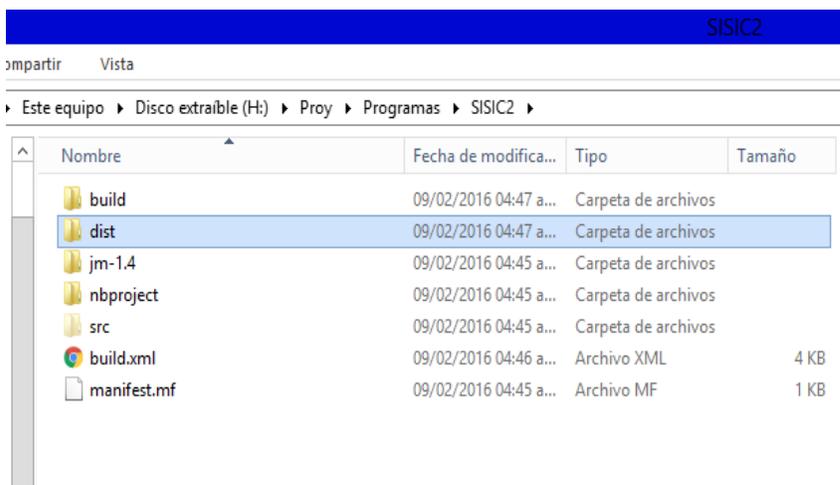
Figura 32. Copia del programa a archivos del programa



Fuente: Elaboración propia (2016).

24. Cuando se haya terminado de copiar, entrar a la carpeta SISIC, buscar la carpeta llamada *dist* y abrirla.

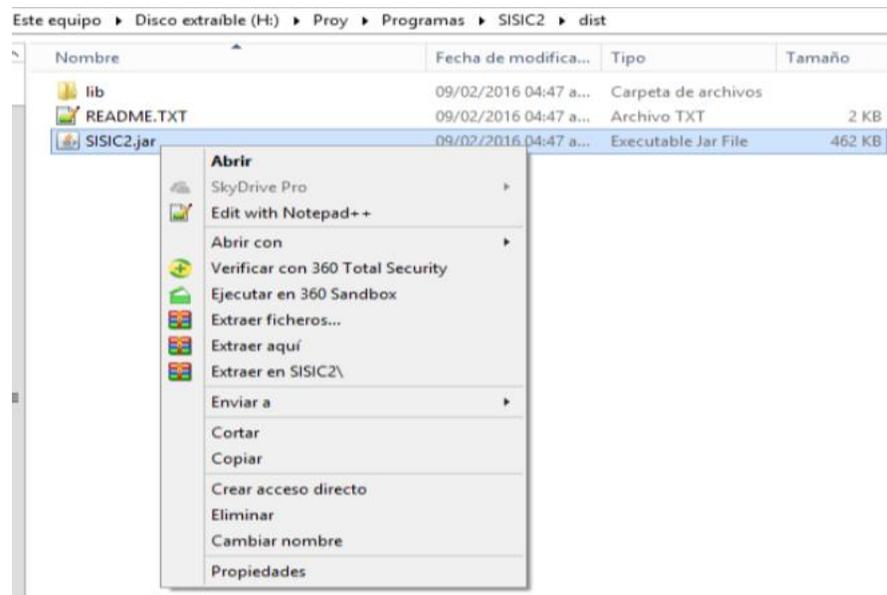
Figura 33. Carpeta dist



Fuente: Elaboración propia basado n SISIC (2016).

25. Dentro de la carpeta *dist* se encuentra un archivo llamado SISIC con extensión (.jar), crear un acceso directo en el escritorio (o en el sitio que se desee). Cuando se requiera abrir el programa, solo se debe ejecutar el acceso directo.

Figura 34. Acceso directo para ejecutar SISIC



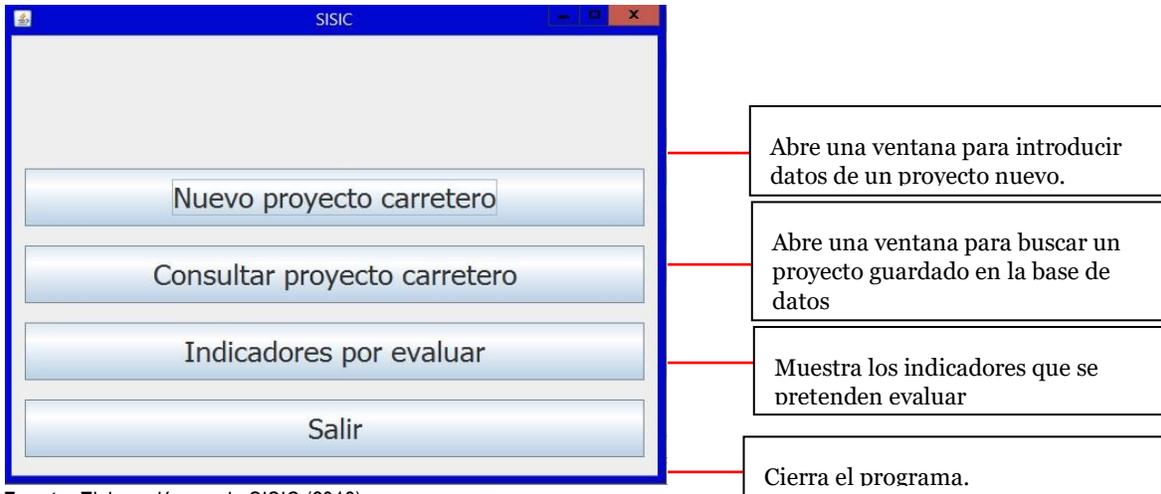
Fuente: Elaboración propia basado en SISIC (2016).

3.3. Manual de uso del sistema SISIC

3.3.1. Ventana de Inicio de la interfaz

Al abrir el programa aparecerá una pantalla con 4 botones, cada uno realiza las acciones indicadas en la Figura 34.

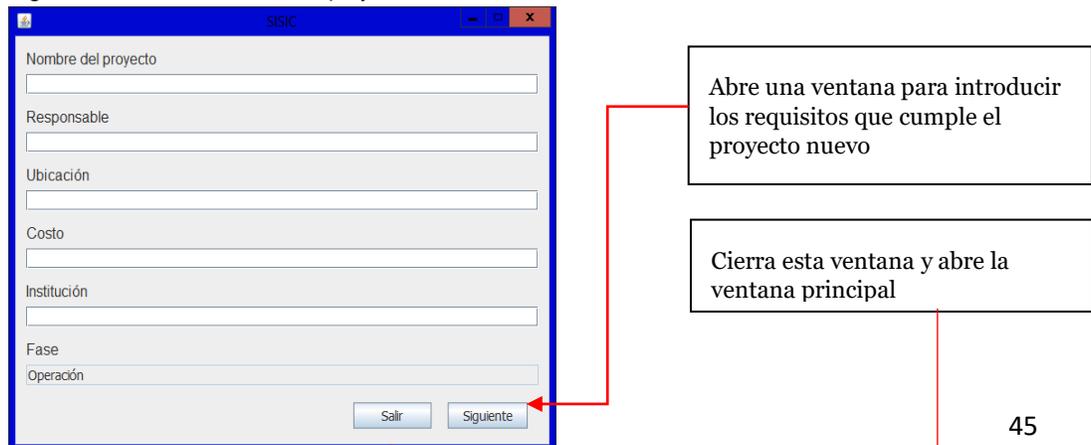
Figura 35. Ventana de inicio SISIC



Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

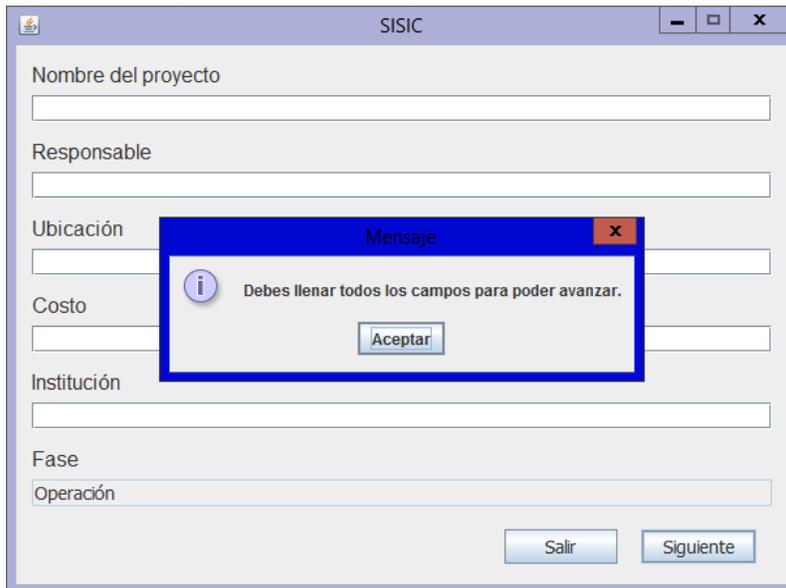
Posteriormente si se crea un nuevo proyecto, es necesario llenar los campos: nombre del proyecto, responsable del proyecto, ubicación, costo, institución y fase en la que se encuentra el proyecto, véase (Figura 34). En caso de no llenar todos los campos el programa mostrará un mensaje de error como lo muestra la (Figura 36). El campo designado para costo del proyecto debe llenarse sólo con números, de lo contrario mostrará un mensaje de error como aparece en la (Figura 37).

Figura 36. Ventana de datos del proyecto



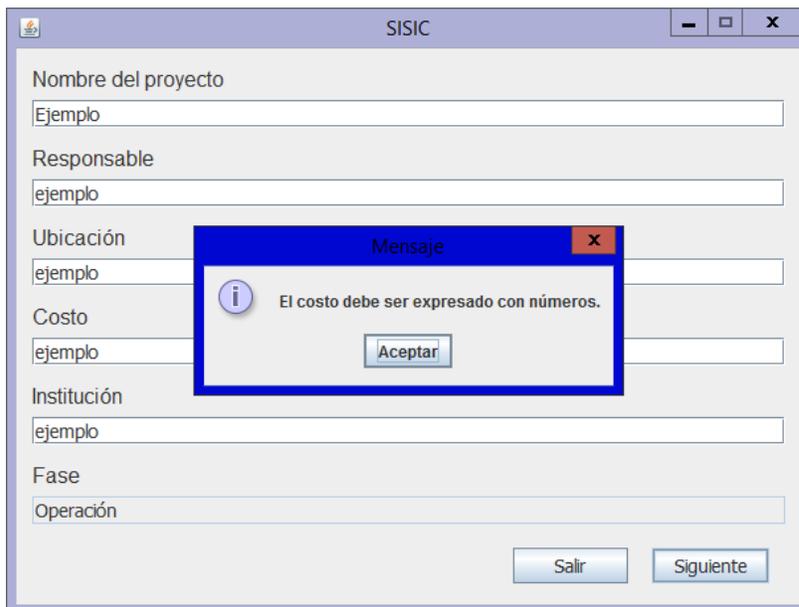
Fuente: Elaboración propia SISIC (2016)

Figura 37. Mensaje de error, existen campos vacíos



Fuente: Elaboración propia SISIC (2016)

Figura 38. Mensaje de error, El costo debe ser expresado con números



Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

3.3.2. Ventana de requerimientos del proyecto.

Esta es la ventana de interfaz que muestra el programa para iniciar la evaluación. Es necesario contar con los proyectos ejecutivos de las carreteras a evaluar. Se debe indicar con que requisitos cuenta el proyecto carretero eligiendo del menú que se despliega correspondiente a cada indicador si cumple o no cumple con tal indicador.

En la parte inferior izquierda se muestra el score del proyecto, este indica el número de indicadores que se cumplen y el porcentaje de éstos. El software tiene como referencia 44 indicadores con un 100%. Cuando se alcanza cierto porcentaje, el rango del proyecto cambia, véase (Figura 39).

Figura 39. Captura de pantalla de interfaz mostrando indicadores por evaluar, agrupados por rubros

CRITERIOS AMBIENTALES		CRITERIOS ECONÓMICOS (2/2)		CRITERIOS TÉCNICOS (2/2)	
1. Evaluación del impacto ambiental:	NO	16. Garantía del contratista:	NO	31. Análisis hidrológico:	NO
2. Fragmentación del hábitat/Conectividad ecológica:	NO	17. Uso de materiales locales:	NO	32. Uso de materiales reciclados:	NO
3. Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental:	NO	18. Pavimentos de larga duración:	NO	33. Sistema de gestión ambiental:	NO
4. Plan de prevención de la contaminación del agua:	NO	19. Mejores prácticas para mantenimiento carretero y preservación de infraestructura:	NO	34. Formación ambiental:	NO
5. Plan de mitigación de ruido:	NO	20. Eficiencia energética:	NO	35. Plan de reciclaje:	NO
6. Calidad de escurrimientos superficiales/ Prevención de contaminación del agua:	NO	CRITERIOS SOCIALES		36. Reducción del consumo de combustibles fósiles:	NO
7. Control de los escurrimientos superficiales:	NO	21. Plan de mantenimiento del sitio:	NO	37. Reducción de emisiones en la pavimentación:	NO
8. Restauración del hábitat:	NO	22. Planeación en el contexto:	NO	38. Registro del uso del agua en la construcción:	NO
9. Manejo del agua pluvial:	NO	23. Reducción de emisiones vehiculares:	NO	39. Vegetación nativa:	NO
10. Uso de energía alterna:	NO	24. Movilidad peatonal:	NO	40. Reciclaje de pavimentos:	NO
11. Capacitación ambiental:	NO	25. Movilidad para vehículos de alta ocupación:	NO	41. Sistema de gestión de pavimentos:	NO
12. Protección de la fauna:	NO	26. Movilidad para ciclistas:	NO	42. Preservación de sitios históricos:	NO
CRITERIOS ECONÓMICOS (1/2)		CRITERIOS TÉCNICOS (1/2)		CRITERIOS DE SEGURIDAD	
13. Análisis del costo del ciclo de vida:	NO	27. Diseño geométrico:	NO	43. Auditoría de seguridad vial:	NO
14. Sistema de gestión de la calidad:	NO	28. Inventario del ciclo de vida:	NO	44. Seguimiento del desempeño de pavimentos:	NO
15. Equilibrio de movimiento de tierras:	NO	29. Plan de control de caídas:	NO	Botones: Salir, Atrás, Enviar, Guarda	
		30. Plan de manejo de residuos:	NO		

Muestra el número de requisitos cumplidos y su porcentaje. El rango cambiará dependiendo del porcentaje.

Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

Área de requisitos del programa

A partir del 60% el rango será *Bronce*, a partir del 80% será *Plata* y cuando se tenga el 100% será *Oro*. Como se muestra en la (Figura 39).

Figura 40. Porcentaje proporcionado con base en el cumplimiento de los indicadores

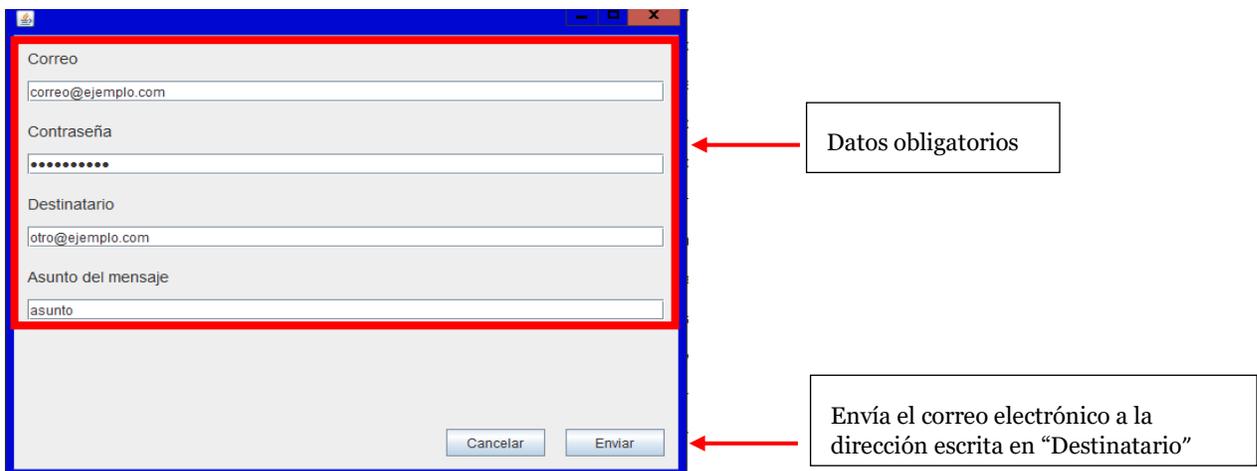
0 (0%)	Rango:	Ninguno
26 (60%)	Rango:	Bronce
35 (80%)	Rango:	Plata
44 (100%)	Rango:	Gold

Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

3.3.3. Ventana de envío por correo electrónico.

Esta ventana muestra 4 campos, en ellos se debe introducir una dirección de correo electrónico de Gmail o de Hotmail que será el remitente del correo. Además, es pertinente que se proporcione la contraseña del correo. Para el envío se debe de llenar el campo del destinatario, y el asunto del mensaje. Para ser enviado se debe presionar el botón *Enviar*. Véase (Figura 41).

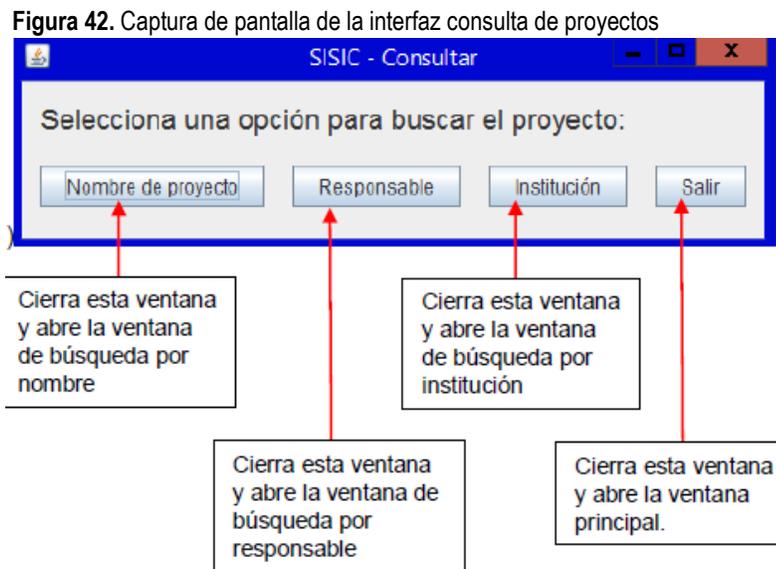
Figura 41. Captura de pantalla de la interfaz que ejecuta la sentencia de envío por correo electrónico



Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

3.3.4. Ventana de consulta de proyectos.

Cuando se presiona el botón *Consultar proyecto* en la ventana principal (Figura 35) se abrirá una pequeña ventana (Figura 41) preguntando por una opción para buscar proyectos: por nombre del proyecto, por responsable o por institución.



Fuente: Elaboración propia SISIC(2016).

3.3.5. Ventana de consulta de proyectos por nombre.

En esta ventana se debe introducir el nombre de un proyecto que ya haya sido guardado. Para realizar la búsqueda se debe presionar el botón *Buscar*. Si el proyecto existe en la base de datos, se mostrarán los datos del proyecto: nombre del proyecto, responsable del proyecto, ubicación, costo, institución, score, rango y fase en la que se encuentra el proyecto, véase (Figura 40). En caso de que la búsqueda no sea satisfactoria los botones *Modificar*, *Eliminar* y *Enviar* estarán deshabilitados.

Figura 43. Captura de pantalla de la interfaz búsqueda de proyecto carretero por nombre



Fuente: Elaboración propia SISIC (2016)

3.3.6. Ventana de consulta de proyectos por responsable.

Esta ventana ejecuta la búsqueda de proyectos de infraestructura carretera por responsable. Se debe de introducir el nombre del responsable. Para el caso de que existan varios proyectos con el mismo responsable, se mostrarán los datos del primer proyecto (nombre del proyecto, responsable del proyecto, ubicación, costo, institución, score, rango y fase) y posteriormente el número de proyectos encontrados. Para ver los detalles del siguiente proyecto se debe presionar el botón *Siguiente*. En caso de no encontrar el proyecto se mostrará un mensaje como lo muestra la (Figura 43).

Figura 44. Ventana de búsqueda de proyecto por responsable

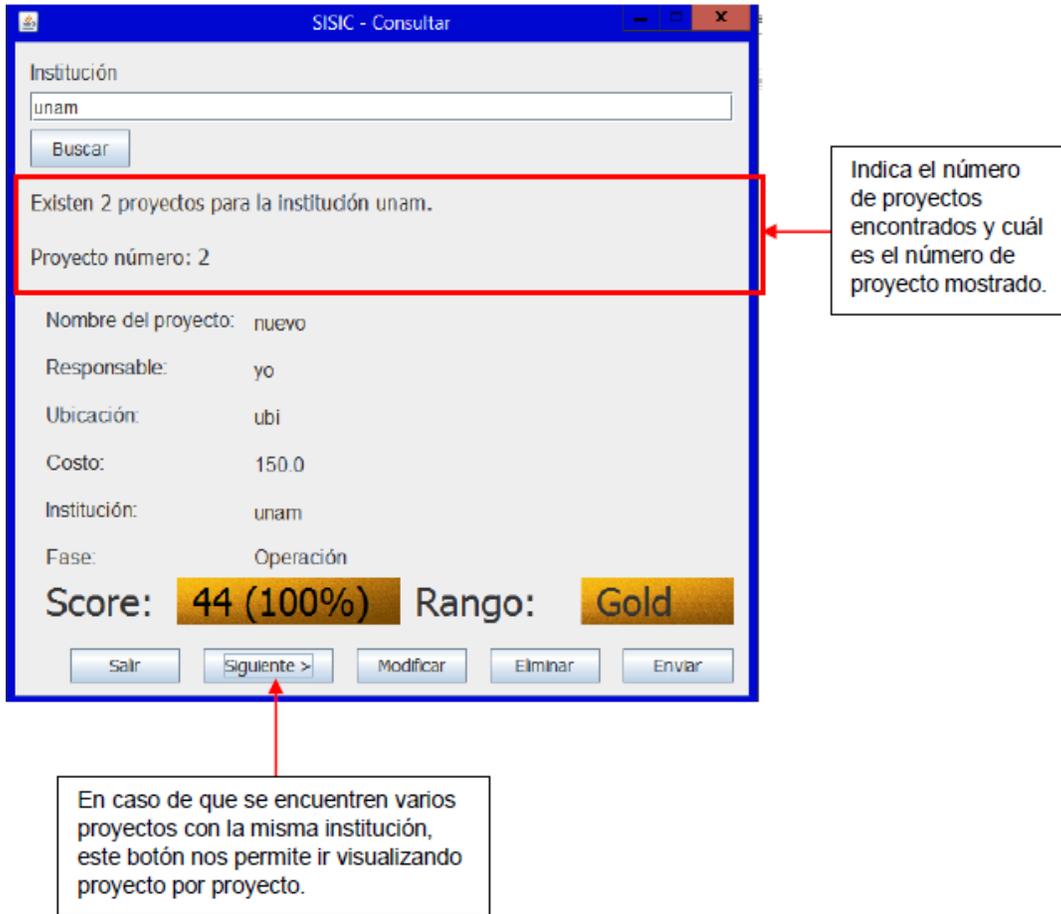


Fuente: Elaboración propia SISIC (2016)

3.3.7. Ventana consulta de proyectos por institución.

Esta ventana ejecuta la búsqueda de proyectos de infraestructura carretera por institución. Se debe introducir el nombre de la institución. Para el caso de que existan varios proyectos de la misma institución, se mostrarán los datos del primer proyecto (nombre del proyecto, responsable del proyecto, ubicación, costo, institución, score, rango y fase) y posteriormente el número de proyectos encontrados. Para ver los detalles del siguiente proyecto se debe presionar el botón *Siguiete* como lo muestra la (Figura 44).

Figura 45. Captura de pantalla de la interfaz búsqueda por institución



Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

En este capítulo se presentó las instrucciones para la instalación del sistema SISIC, asimismo se mostró el manual de operación del sistema SISIC. Es necesario que los proyectos de infraestructura carretera sean lo más completos posible para realizar la evaluación más confiable.

Capítulo IV. Validación del sistema SISIC en las Autopistas: Amecameca-Cuautla y México-Toluca.

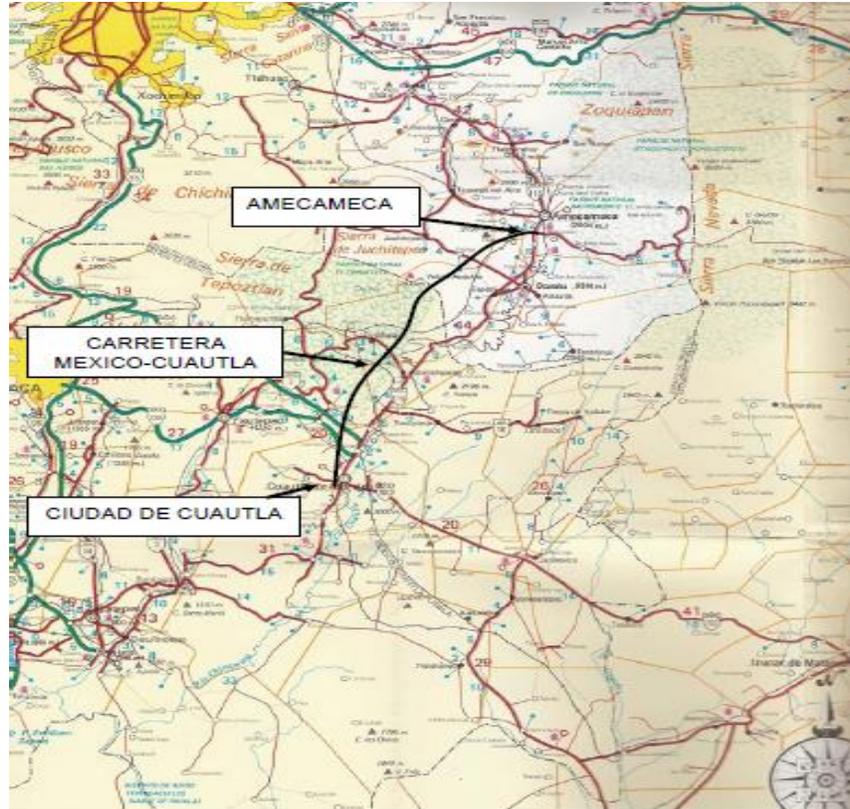
En este capítulo se validará el software desarrollado en dos proyectos carreteros: México-Cuautla en el tramo Amecameca- Cuautla, Límites de los Estados de México y Morelos. Y México-Toluca. Se empezará con una breve contextualización de ambas carreteras, posteriormente se realizará el reconocimiento de los indicadores, así como el ingreso de la información en el software y por último se emitirán las conclusiones y recomendaciones pertinentes respectivas a cada proyecto.

4.1. Descripción de la autopista Amecameca-Cuautla

Debido al crecimiento de la zona y de la población en las localidades de Amecameca y Cuautla, es necesaria la construcción del Tramo carretero con el objetivo de conectar y comunicar de manera eficiente la entrada y salida de vehículos entre estas poblaciones, para evitar el congestionamiento dentro de estas comunidades, con el fin de ayudar a dar eficiencia al traslado de mercancías y todo tipo de vehículos que requieren el uso de esta ruta y acortar el tiempo de traslado entre los límites de los estados de México y Morelos; lo que implica una mejor intercomunicación entre las comunidades y las aledañas a éstas. El proyecto contempla la construcción de una carretera Tipo A-4, con ancho de corona de 24 m, carpeta de 15.00 m (en dos tramos de 7.50 m) y acotamientos laterales de 2.50 m. y uno central de 4.00 m., el tramo en cuestión se proyectará para que cumpla con el alineamiento horizontal y vertical correspondiente a este tipo de camino y con las Normas y Especificaciones vigentes.

En la Figura 43, se muestra la localización general de dicha obra, Tramo Amecameca-Cuautla, ubicado en los límites de los estados de México y Morelos. Tramo del Km. 28+400 al KM 49+100.

Figura 46. Localización general de la Carretera México – Cuautla. Tramo Amecameca, ubicado en los límites de los estados de México y Morelos. Tramo del Km. 28+400 al KM 49+100



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes 2012

Localización

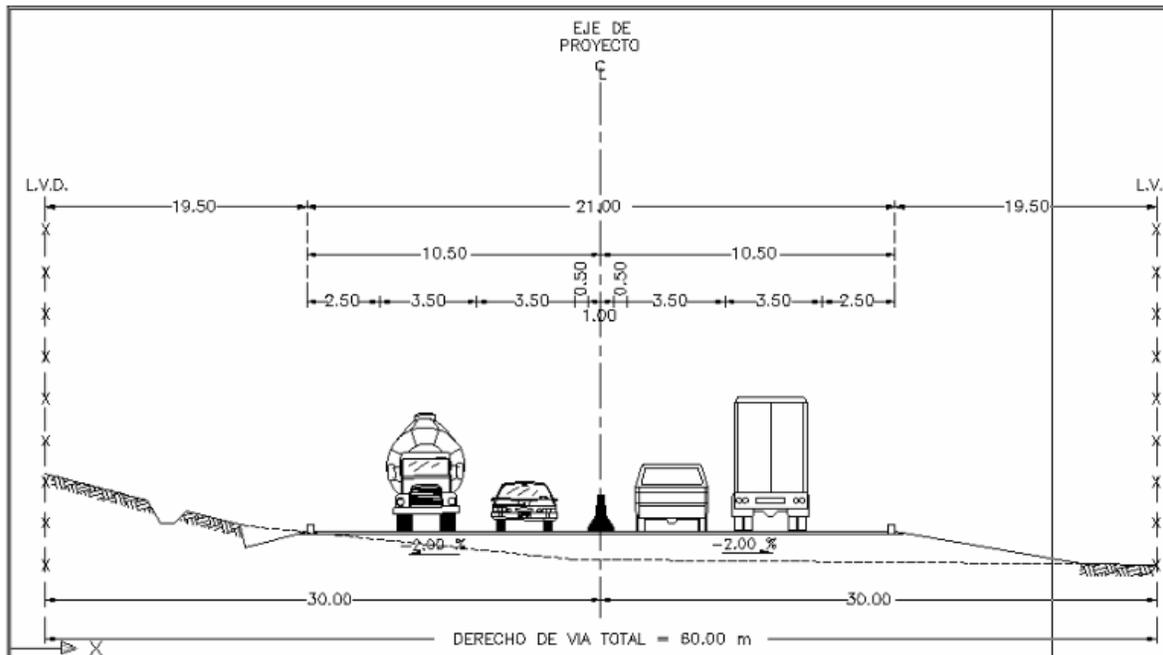
Amecameca pertenece a la región III Texcoco integrada por 15 municipios. Está situada en las faldas de la sierra Nevada dentro de la provincia del eje volcánico y en la cuenca del río Moctezuma-Panuco. Las coordenadas del municipio son 19° 07' 36" de latitud y 92° 46' 01" de longitud oeste su altura al nivel del mar es de 2420 m. Limita con el norte con el municipio de Tlalmanalco, al este con Puebla, al sur con Ayapango y Huchitepec. La superficie es de 181.72 Km² Ocupa el lugar 44 por su extensión y presenta el 0.8% del territorio estatal. Altura sobre el nivel del mar es de 2420m en la cabecera municipal. El estado de Morelos es uno de los más pequeños de la República Mexicana, situado entre los paralelos 18°22'

y 19°07' LN y los meridianos 98°30' y 99°37' LW, al Sur del Trópico de Cáncer, a una altitud de 1,480 m. sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio al año de 22.2°C El Municipio de Cuautla se localiza a una altitud promedio de 1,300 metros sobre el nivel del mar.

En resumen, la autopista contempla los siguientes datos:

- a) Tipo de camino: Tipo A-4
- b) Período de Vida Útil: 20 años
- c) Tasa de crecimiento anual del tránsito (r): 5%
- d) Tránsito diario promedio anual TDDPA: 23,649 vehículos
- e) Velocidad de proyecto: 110 KPH
- f) Ancho de corona: 21.00 m
- g) Ancho de calzada: 10.50 m
- h) Ancho del derecho de vía: 60.00 m
- i) Pendiente gobernadora: 2 %
- j) Pendiente máxima: -1.45 %
- k) Ancho de acotamiento: 2.50 m a cada lado

Figura 47. Dimensiones del proyecto carretero Amecameca-Cuautla



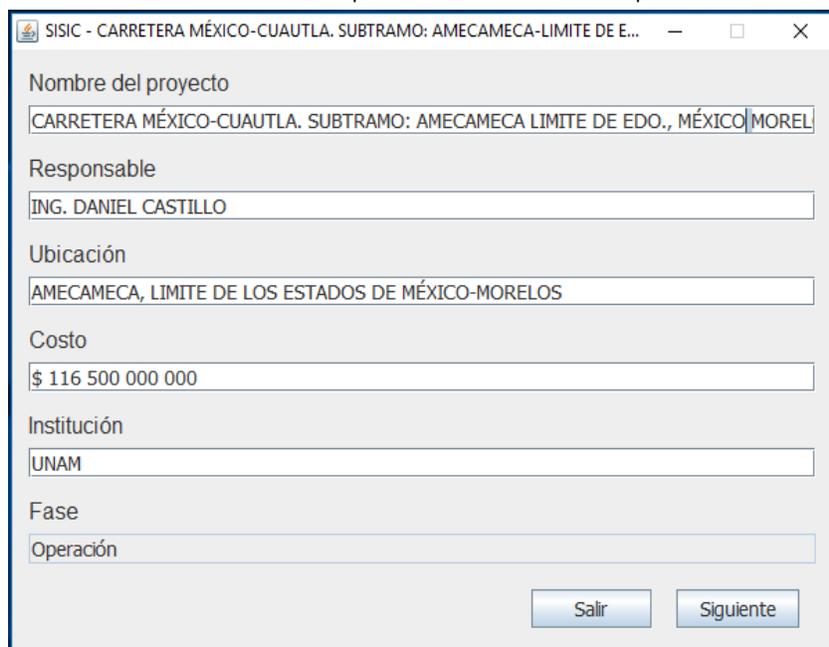
Fuente: SACBE, Servicios de Ingeniería S.A. de C.V (2014).

4.2. Evaluación de la autopista Amecameca-Cuautla

Los datos antes mencionados contextualizan la Autopista en estudio, y dan la pauta para poder iniciar la evaluación de la carretera Amecameca-Cuautla. Como ya se mencionó en el Capítulo I, se tomarán en cuenta 44 indicadores para poder obtener el grado de sustentabilidad de la Autopista Amecameca-Cuautla.

La Figura 45 presenta la ventana de inicio del software SISIC con los datos de Proyecto de la Autopista Amecameca Cuautla, el llenado de los datos de inicio parte del proyecto ejecutivo de la Autopista que se tomó de la información proporcionada por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

Figura 48. Ventana de la interfaz de inicio para la Evaluación de la Autopista Amecameca Cuautla.



The image shows a screenshot of a software window titled "SISIC - CARRETERA MÉXICO-CUAUTLA. SUBTRAMO: AMECAMECA-LIMITE DE E...". The window contains several text input fields with the following data:

- Nombre del proyecto: CARRETERA MÉXICO-CUAUTLA. SUBTRAMO: AMECAMECA LIMITE DE EDO., MÉXICO MOREL
- Responsable: ING. DANIEL CASTILLO
- Ubicación: AMECAMECA, LIMITE DE LOS ESTADOS DE MÉXICO-MORELOS
- Costo: \$ 116 500 000 000
- Institución: UNAM
- Fase: Operación

At the bottom right of the window, there are two buttons: "Salir" and "Siguiente".

Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

Como paso siguiente se presenta en la Figura 46 la ventana de la interfaz del programa SISIC donde muestra los indicadores por evaluar, agrupados en los criterios Ambiental, Social, Económico, Técnico y de Seguridad. A cada indicador se le asignó un valor de (si), si cumple con el indicador, y (no) si no lo cumple.

Figura 49. Ventana de la Interfaz de Evaluación de Sustentabilidad en la Autopista Amecameca Cuautla

SISIC - CARRETERA MÉXICO-CUAUTLA. SUBTRAMO: AMECAMECA LIMITE DE EDO., MÉXICO MORELOS.

CRITERIOS AMBIENTALES		CRITERIOS ECONÓMICOS (2/2)		CRITERIOS TÉCNICOS (2/2)	
1. Evaluación del impacto ambiental:	SI	16. Garantía del contratista:	SI	31. Análisis hidrológico:	SI
2. Fragmentación del hábitat/Conectividad ecológica:	NO	17. Uso de materiales locales:	SI	32. Uso de materiales reciclados:	NO
3. Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental:	SI	18. Pavimentos de larga duración:	NO	33. Sistema de gestión ambiental:	SI
4. Plan de prevención de la contaminación del agua:	SI	19. Mejores prácticas para mantenimiento carretero y preservación de infraestructura:	NO	34. Formación ambiental:	NO
5. Plan de mitigación de ruido:	SI	20. Eficiencia energética:	SI	35. Plan de reciclaje:	NO
6. Calidad de escurrimientos superficiales/ Prevención de contaminación del agua:	SI	CRITERIOS SOCIALES		36. Reducción del consumo de combustibles fósiles:	SI
7. Control de los escurrimientos superficiales:	SI	21. Plan de mantenimiento del sitio:	SI	37. Reducción de emisiones en la pavimentación:	SI
8. Restauración del hábitat:	SI	22. Planeación en el contexto:	SI	38. Registro del uso del agua en la construcción:	NO
9. Manejo del agua pluvial:	SI	23. Reducción de emisiones vehiculares:	SI	39. Vegetación nativa:	SI
10. Uso de energía alterna:	SI	24. Movilidad peatonal:	NO	40. Reciclaje de pavimentos:	NO
11. Capacitación ambiental:	NO	25. Movilidad para vehículos de alta ocupación:	NO	41. Sistema de gestión de pavimentos:	NO
12. Protección de la fauna:	SI	26. Movilidad para ciclistas:	NO	42. Preservación de sitios históricos:	SI
CRITERIOS ECONÓMICOS (1/2)		CRITERIOS TÉCNICOS (1/2)		CRITERIOS DE SEGURIDAD	
13. Análisis del costo del ciclo de vida:	SI	27. Diseño geométrico:	SI	43. Auditoría de seguridad vial:	SI
14. Sistema de gestión de la calidad:	NO	28. Inventario del ciclo de vida:	NO	44. Seguimiento del desempeño de pavimentos:	SI
15. Equilibrio de movimiento de tierras:	SI	29. Plan de control de caídas:	SI		
		30. Plan de manejo de residuos:	SI		

Score: 29 (65%) **Rango: Bronce**

Salir Atrás Enviar Guarda

Fuente: Elaboración propia SISIC (2016).

La Figura 48 representa la evaluación y muestra que de los 44 indicadores propuestos solo se cumplen 29 obteniendo así un 65% del total. El software SISIC otorga un grado de sustentabilidad que se ubica en el rango *Bronce*. Es importante mencionar que el grado de sustentabilidad nos proporciona información de que la autopista en estudio tiene áreas de mejora y oportunidad para poder incrementar la sustentabilidad con la que cuenta.

4.3. Recomendaciones pertinentes para la Autopista Amecameca-Cuautla

A continuación, se describirán los indicadores con los que no cumple el Proyecto Carretero Amecameca-Cuautla y se emiten las recomendaciones pertinentes para el caso de estudio.

Tabla 4. Recomendaciones para el Criterio Ambiental Autopista Amecameca-Cuautla

Criterio Ambiental	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
Capacitación Ambiental	Actividad encaminada a promover la conciencia de usuarios, operadores de servicios y actividades de una carretera con programas permanentes de educación sustentable ambiental, con el fin de extender la toma de decisiones de la sustentabilidad en las actividades de la vida diaria.	Realización de planes y programas que fortalezcan la educación sustentable de carácter institucional, municipal, estatal y federal. Participación ciudadana, cultura ambiental (Vinculación, educación ambiental, conciencia ciudadana y comunicación social). Evaluación conjunta de las acciones
Fragmentación del Hábitat/Conectividad Ecológica	Proceso que permite renovar el área dañada por los procesos constructivos de la carretera, e integra acciones para consolidar el paisaje fragmentado, sin interrumpir la movilidad de las carreteras y la seguridad de los usuarios.	Facilitar accesos para flora y fauna, con ecosistemas artificiales, como pasos de fauna, que mitiguen el efecto barrera y propicien la vinculación de los organismos entre sí y con su medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 5. Recomendaciones para el criterio Económico Autopista Amecameca-Cuautla

Criterio Económico	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
<i>Sistema de gestión de calidad</i>	Herramienta que permite expresar una estructura organizada, procesos y recursos necesarios para la gestión de una organización con base en los requisitos de la ISO 9000	Certificar los procesos de construcción de carreteras. Generar políticas, manuales y listados de procedimiento de calidad brindando una satisfacción social, ambiental y económica.
<i>Pavimentos de larga duración</i>	Pavimento que no presenta un deterioro significativo en las capas de terracerías y en la estructura del mismo, además la capa de rodamiento, debe cumplir con un mantenimiento oportuno, para brindar una duración de al menos 35 años.	Evaluar las capas del pavimento con la prueba CRB (California Bearing Ratio) <i>Valor de Soporte California</i> , que permiten establecer valores que propicien hasta 60 años de vida útil de acuerdo al tipo de sección y tránsito esperado.
<i>Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y preservación de la infraestructura</i>	Acciones encaminadas a garantizar el tránsito, la seguridad y el confort de los usuarios en cualquier época del año, atendiendo recomendaciones de carácter internacional que sean aplicables a México.	Implementar estrategias que permitan integrar prácticas internacionales con las nacionales otorgando un costo-beneficio.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 6. Recomendaciones para el criterio Social Autopista Amecameca-Cuautla

Criterio Social	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
<i>Movilidad Peatonal</i>	Instalaciones que promueven el desplazamiento peatonal dentro de un sistema de transporte; tales como banquetas y pasos peatonales	Incentivar la construcción de instalaciones peatonales; Banquetas y pasos (a nivel y desnivel) en armonía con la infraestructura carretera.

	(a nivel o desnivel)	
Movilidad para ciclistas	Instalaciones diseñadas para la circulación en bicicleta (ciclo vía o ciclo pista) en el derecho de vía de una carretera.	Promover el uso de la bicicleta como medio de transporte limpio y activo. Incentivar la construcción de instalaciones destinadas al uso de la bicicleta.
Movilidad para vehículos de alta ocupación	Medida aplicada especialmente en autopistas, que consiste en destinar un carril de la vialidad para el tránsito de vehículos con más de un ocupante.	Construcción de carriles confinados utilizando el carril derecho de la vía.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 7. Recomendaciones para el criterio Técnico Autopista Amecameca-Cuautla

Criterio Técnico	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
Inventario del Ciclo de Vida	Herramienta que permite analizar y cuantificar los impactos ambientales en el proceso de construcción y mantenimiento de una carretera. Su análisis se realiza mediante software especializado que moldean las etapas del ciclo de vida de un producto (materia prima, producción, uso fin de su vida, tratamiento, reciclado y disposición final) para la obtención de los consumos de energía y emisiones a la atmósfera.	Implementar el software especializado que permita generar el análisis del inventario de ciclo de vida.
Uso de Materiales reciclados	Estrategia que permite reducir los impactos ambientales y el costo de ciclo de vida del proceso de construcción a través del reúso.	Contabilizar la cantidad de almacenamiento, uso y deshecho, con el fin de desarrollar planes que fomenten un mayor ciclo de vida en los materiales, como

		parte del desarrollo sustentable en carreteras.
Formación ambiental	Requisito obligatorio para empresas constructoras, con el fin de generar conciencia y soluciones pertinentes a los problemas de sustentabilidad.	Capacitar al personal responsable con acciones que permitan una interconexión con el desarrollo sustentable.
Plan de reciclaje	Estrategia que permite asignar áreas especializadas y estos puedan ser reutilizados y/o tratados para su eliminación minimizando su cantidad.	Fomentar el reciclaje en el proyecto carretero.
Registro de uso de agua en la construcción	Herramienta que permite registrar y estimar el uso total de agua durante el proceso de construcción.	Garantizar el uso racional del agua mediante planeación estratégica.
Reciclaje de pavimentos	Técnica empleada en la etapa de mantenimiento de la superficie de rodamiento, permitiendo reducir los costos del ciclo de vida y los impactos ambientales, mediante la recuperación del material que integra la estructura del	Utilizar pavimentos que tengan un proceso de mejoramiento en la estructura mediante aditivos o incorporación de nuevos materiales.
Sistema de gestión de pavimentos	Herramienta de criterios para la toma de decisiones, que permite evaluar las condiciones del pavimento y sus variables a ejecutar en el proceso de conservación y rehabilitación.	Implementar un software que permita optimizar la toma de decisiones.

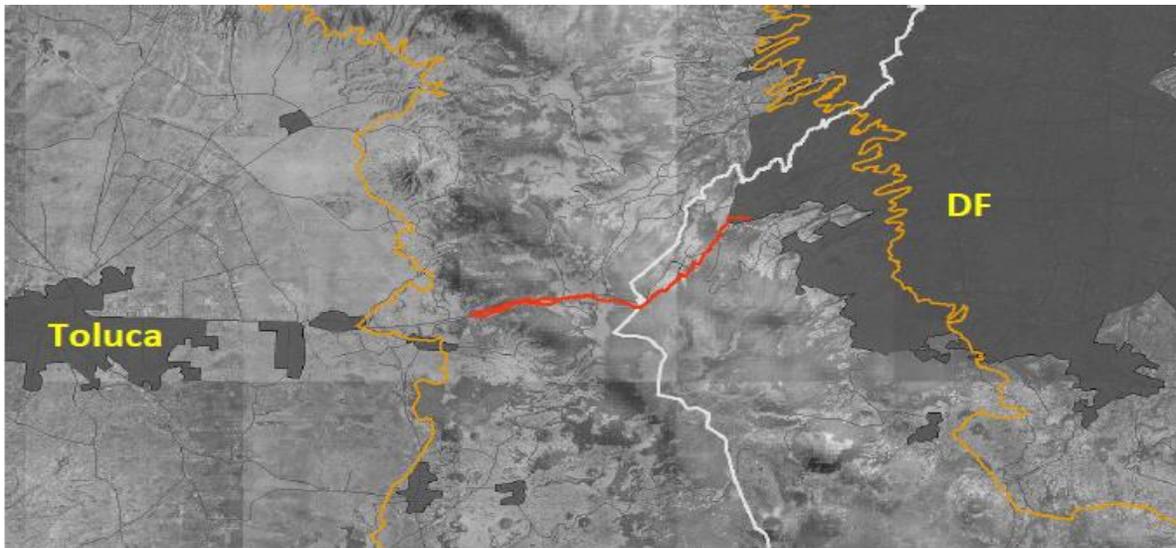
Fuente: Elaboración propia (2016).

El proyecto de Amecameca- Cuautla tiene varias áreas de mejora, en las cuales se debe trabajar para poder obtener un grado de sustentabilidad aceptable y se pueda mitigar los efectos negativos en los pilares social, económico, ambiental, técnico y de seguridad de los proyectos de infraestructura carretera.

4.2. Descripción Carretera Federal libre México-Toluca

La obra forma parte del programa general de modernización de la red de carreteras troncales del país 2008, y en particular de la vialidad primaria del Estado de México en donde se vuelve necesaria su construcción. El proyecto tuvo como objetivo primordial brindar un servicio público a partir del mejoramiento de una infraestructura vial. Para satisfacer la demanda de usuarios que componen el flujo entre la ciudad de Toluca y el Distrito Federal, el proyecto requirió de la ampliación a dos carriles sobre la actual carretera libre México-Toluca. La ampliación se realizó entre el km 22 al 42 y 136 al 143 de la carretera (en ambos cuerpos carreteros).

Figura 50. Ubicación general del Proyecto. Modernización del proyecto en color rojo.



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2012).

El proyecto se refiere a la modernización de una carretera con recurso federal (sector económico terciario, medios de transporte según el INEGI), asignado por la Secretaría de Comunicaciones y transportes. Las dimensiones de la obra se estiman de 27 km de largo (entre el km 22 al 42 y 136 al 143 sobre la carretera federal libre México-Toluca). La obra ocupó un espacio de ampliación de 36 Ha aproximadamente y las actividades se realizaron dentro del derecho de vía.

Debido a que se desarrolló una ampliación en carretera existente, se contemplaron impactos acumulativos como el cambio de uso de suelo (decremento de la vegetación de bosque de oyamel), posible incremento en el atropellamiento de fauna. No se estimaron en sentido estricto impactos significativos.

La inversión contemplada por kilómetro del proyecto es de \$ 19, 800, 000 tomando en cuenta los costos y empleos directos e indirectos. La equivalencia en moneda de Estados Unidos de América es de 13.5982 por dólar (FIX 16/2012), resultando en 1456075.75.06 dólares. Entre el 1 y 2 % del total fue invertido en el cumplimiento de las medidas de mitigación, para la mitigación y compensación de impactos ambientales. El recurso es federal y lo aportó la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La concesión de la carretera es federal. La etapa de preparación del sitio requirió del 30 % del monto, mientras que la construcción el 45% y la etapa de operación el resto del recurso estimado.

Figura 51. Ventana de inicio de Evaluación de la Carretera México-Toluca con el sistema SISIC

Nombre del proyecto	MODERNIZACIÓN DE LA CARRETERA FEDERAL LIBRE MÉXICO-TOLUCA
Responsable	ING. DANIEL CASTILLO
Ubicación	ACTUAL CARRETERA FEDERAL MÉXICO-TOLUCA; TRAMO KM. 22 AL 42 Y 136 AL 143
Costo	\$534 600 000
Institución	UNAM
Fase	CONSTRUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia SISIC(2016).

Fuente: **Figura 52.** Ventana de la Evaluación de la Carretera Federal libre México-Toluca

SISIC - MODERNIZACIÓN DE LA CARRETERA FEDERAL LIBRE MÉXICO-TOLUCA

CRITERIOS AMBIENTALES	CRITERIOS ECONÓMICOS (2/2)	CRITERIOS TÉCNICOS (2/2)	
1. Evaluación del impacto ambiental: SI	16. Garantía del contratista: SI	31. Análisis hidrológico: SI	
2. Fragmentación del hábitat/Conectividad ecológica: SI	17. Uso de materiales locales: SI	32. Uso de materiales reciclados: NO	
3. Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental: SI	18. Pavimentos de larga duración: NO	33. Sistema de gestión ambiental: SI	
4. Plan de prevención de la contaminación del agua: SI	19. Mejores prácticas para mantenimiento carretero y preservación de infraestructura: NO	34. Formación ambiental: SI	
5. Plan de mitigación de ruido: SI	20. Eficiencia energética: SI	35. Plan de reciclaje: NO	
6. Calidad de escurrimientos superficiales/Prevenición de contaminación del agua: SI	CRITERIOS SOCIALES		
7. Control de los escurrimientos superficiales: SI	21. Plan de mantenimiento del sitio: SI	36. Reducción del consumo de combustibles fósiles: SI	
8. Restauración del hábitat: SI	22. Planeación en el contexto: SI	37. Reducción de emisiones en la pavimentación: SI	
9. Manejo del agua pluvial: SI	23. Reducción de emisiones vehiculares: NO	38. Registro del uso del agua en la construcción: NO	
10. Uso de energía alterna: NO	24. Movilidad peatonal: SI	39. Vegetación nativa: SI	
11. Capacitación ambiental: SI	25. Movilidad para vehículos de alta ocupación: NO	40. Reciclaje de pavimentos: NO	
12. Protección de la fauna: SI	26. Movilidad para ciclistas: NO	41. Sistema de gestión de pavimentos: NO	
CRITERIOS ECONÓMICOS (1/2)		42. Preservación de sitios históricos: SI	
13. Análisis del costo del ciclo de vida: SI	CRITERIOS TÉCNICOS (1/2)		
14. Sistema de gestión de la calidad: NO	27. Diseño geométrico: SI	CRITERIOS DE SEGURIDAD	
15. Equilibrio de movimiento de tierras: SI	28. Inventario del ciclo de vida: SI	43. Auditoría de seguridad vial: SI	
	29. Plan de control de calidad: SI	44. Seguimiento del desempeño de pavimentos: NO	
	30. Plan de manejo de residuos: SI		

Score: 31 (70%) **Rango: Bronce**

Salir Atrás Enviar Guarda

Elaboración propia basada en SISIC (2016).

Con base en el resultado de la evaluación realizada a la Carretera libre México-Toluca empleando el software SISIC, se puede apreciar que los indicadores con los que cumple el proyecto alcanzan un rango bronce. Esto quiere decir, que el proyecto tiene puntos de mejora. En total los indicadores que no se cumplieron son 13 divididos de la siguiente manera. 1 indicador en el criterio ambiental, 3 indicadores en el criterio económico, 3 indicadores en el criterio social, 5 indicadores en el criterio técnico y 1 indicador en el criterio de seguridad. Para tales casos se emite la descripción de los indicadores y se proponen recomendaciones como medida para generar resultados con mayor grado de sustentabilidad que favorezcan a los proyectos de infraestructura carretera.

Tabla 8. Recomendaciones para el criterio ambiental de la Carretera Federal libre México-Toluca

Criterio Ambiental	Descripción	Recomendaciones para la mejora del grado de sustentabilidad.
Uso de energía alternativa	También llamada energía renovable o verde, es aquella fuente de energía que no utiliza la quema de combustible fósil. Como ejemplo de energía verde se tiene (eólica, solar, biomasa, mareomotriz, etc.)	Realizar una planeación rigurosa en la que se contemplen el uso de energía verde. Implementar el uso de energía alternativa que permita desincentivar el uso de energía proveniente de combustibles fósiles.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 9. Recomendaciones para el criterio Económico de la Carretera Federal libre México-Toluca

Indicadores de tipo Económico	Descripción	Recomendaciones para la mejora del grado de sustentabilidad.
Sistema de gestión de calidad	Herramienta que permite expresar una estructura organizada, procesos y recursos necesarios para la gestión de una organización con base en los requisitos de la ISO 9000	Certificar los procesos de construcción de carreteras. Generar políticas, manuales y listados de procedimiento de calidad brindando una satisfacción social, ambiental y económica.
Pavimentos de larga duración	Pavimento que no presenta un deterioro significativo en las capas de terracerías y en la estructura del mismo, además la capa de rodamiento, debe cumplir con un mantenimiento oportuno, para brindar una duración de al menos 35 años.	Evaluar las capas del pavimento con la prueba CRB (California Bearing Ratio) <i>Valor de Soporte California</i> , que permiten establecer valores que propicien hasta 60 años de vida útil de acuerdo al tipo de sección y tránsito esperado.
Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y preservación de la infraestructura	Acciones encaminadas a garantizar el tránsito, la seguridad y el confort de los usuarios en cualquier época del año, atendiendo recomendaciones de carácter internacional que sean aplicables a México.	Implementar estrategias que permitan integrar prácticas internacionales con las nacionales otorgando un costo-beneficio.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 10. Recomendaciones para criterio social de la Carretera Federal libre México-Toluca

Indicadores de tipo Social	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
<i>Movilidad Peatonal</i>	Instalaciones que promueven el desplazamiento peatonal dentro de un sistema de transporte; tales como banquetas y pasos peatonales (a nivel o desnivel)	Incentivar la construcción de instalaciones peatonales; Banquetas y pasos (a nivel y desnivel) en armonía con la infraestructura carretera.
<i>Movilidad para ciclistas</i>	Instalaciones diseñadas para la circulación en bicicleta (ciclo vía o ciclo pista) en el derecho de vía de una carretera.	Promover el uso de la bicicleta como medio de transporte limpio y activo. Incentivar la construcción de instalaciones destinadas al uso de la bicicleta.
<i>Movilidad para vehículos de alta ocupación</i>	Medida aplicada especialmente en autopistas, que consiste en destinar un carril de la vialidad para el tránsito de vehículos con más de un ocupante.	Construcción de carriles confinados utilizando el carril derecho de la vía.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 11. Recomendaciones en el criterio técnico de la Carretera Federal libre México-Toluca

Indicadores de tipo Técnico	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
Uso de materiales reciclados	Estrategia que permite reducir los impactos ambientales y el costo de ciclo de vida del proceso de construcción a través del reúso.	Contabilizar la cantidad de almacenamiento, uso y deshecho, con el fin de desarrollar planes que fomenten un mayor ciclo de vida en los materiales, como parte del desarrollo sustentable en carreteras.
Plan de reciclaje	Estrategia que permite asignar áreas especializadas y estos puedan ser reutilizados y/o tratados para su eliminación	Fomentar el reciclaje en el proyecto carretero.

	minimizando su cantidad.	
Registro de uso de agua en la construcción	Herramienta que permite registrar y estimar el uso total de agua durante el proceso de construcción.	Garantizar el uso racional del agua mediante planeación estratégica.
Reciclaje de pavimentos	Técnica empleada en la etapa de mantenimiento de la superficie de rodamiento, permitiendo reducir los costos del ciclo de vida y los impactos ambientales, mediante la recuperación del material que integra la estructura del	Utilizar pavimentos que tengan un proceso de mejoramiento en la estructura mediante aditivos o incorporación de nuevos materiales.
Sistema de gestión de pavimentos	Herramienta de criterios para la toma de decisiones, que permite evaluar las condiciones del pavimento y sus variables a ejecutar en el proceso de conservación y rehabilitación.	Implementar un software que permita optimizar la toma de decisiones.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 12. Recomendaciones para el criterio seguridad de la Carretera Federal libre México-Toluca

Indicadores del tipo seguridad	Descripción	Recomendaciones para mejora del grado de sustentabilidad
Seguimiento del desempeño de pavimentos	Herramienta que permite medir la calidad de construcción y la vida útil de un pavimento, a través de registros obtenidos en pruebas de densidad, asentamiento, contenido de agua, resistencia a la compresión y análisis de contenido de asfalto.	Implementar en el diseño, construcción, operación y mantenimiento el uso de herramientas que permitan obtener una resultante en la calidad de construcción y vida útil de un pavimento.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Conclusiones, recomendaciones y estudios futuros

En este apartado se emiten las conclusiones generales del trabajo de tesis, indicando el cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos. Se presentan las recomendaciones y se muestra las líneas de investigación futuras.

Se abordó la literatura de sistemas de infraestructura, se determinaron los sistemas que se enfocaron en infraestructura carretera INVEST y GREENROADS. Asimismo, se presentó el diseño y se desarrolló un sistema de indicadores que permite evaluar el grado de sustentabilidad en los proyectos de infraestructura carretera, desarrollado para el contexto de México, denominado SISIC.

Por último, se implementó el sistema de indicadores de sustentabilidad aplicados a la infraestructura carretera de México en un software, con el fin de automatizar el proceso de evaluación, y se validó en los proyectos de carretera, Amecameca-Cuautla y México-Toluca.

Con base en los resultados de la evaluación realizada como lo muestra la tabla 13 se emiten las recomendaciones y se mencionan las posibles líneas de estudios futuros.

Tabla 13. Tabla de resultados por indicadores y autopistas

Indicador	Autopista Amecameca-Cuautla	Carretera Federal México-Toluca	Criterio
Capacitación Ambiental	X		Ambiental
Fragmentación Del hábitat/Conectividad Ecológica	X		
Uso de energía alterna		X	
Sistema de gestión de calidad	X	X	Económico
Pavimentos de larga duración	X	X	
Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y preservación de la infraestructura	X	X	
Movilidad peatonal	X	X	Social
Movilidad para ciclistas	X	X	
Movilidad para vehículos de alta ocupación	X	X	
Inventario del ciclo de vida	X		Técnico

Uso de materiales reciclados	X	X	
Formación ambiental	X		
Plan de reciclaje	X	X	
Registro de uso de agua en la construcción	X	X	
Reciclaje de pavimentos	X	X	
Sistema de gestión de pavimentos	X	X	
Seguimiento del desempeño de pavimentos		X	Seguridad

Fuente: Elaboración propia (2016).

En el criterio ambiental la autopista Amecameca-Cuautla no cumple con los indicadores (Capacitación Ambiental y Fragmentación del hábitat/Conectividad Ecológica), Mientras que para la México-Toluca se tiene para el mismo criterio el indicador (uso de energía alterna). Mientras que, para los criterios Económico, en los indicadores (Sistema de gestión de calidad, pavimentos de larga duración y mejores prácticas para el mantenimiento carretero y preservación de la infraestructura) y Social en los indicadores (movilidad peatonal, movilidad para ciclistas y movilidad para vehículos de alta ocupación), coinciden en el incumplimiento de estos indicadores respectivamente.

En el caso del criterio técnico en el indicador (uso de materiales reciclados, plan de reciclaje, registro de uso de agua en la construcción, reciclaje de pavimentos y sistema de gestión de pavimentos) coinciden ambos proyectos en el incumplimiento de los indicadores, en adición para la autopista Amecameca-Cuautla en el mismo criterio incumple el indicador (formación ambiental). Finalmente, en el criterio de seguridad, la carretera México-Toluca incumple en el indicador (seguimiento del desempeño de pavimentos).

De esta manera se concluye que México cumple con los requerimientos mínimos que otorga un grado de sustentabilidad satisfactorio. Así los indicadores muestran los indicadores donde se debe trabajar para poder mejorar el grado de sustentabilidad y mejorar los proyectos de infraestructura carretera, que puedan competir de manera internacional y reflejen el compromiso que se tiene con relación al desarrollo sustentable.

Es necesario que en líneas futuras de investigación se desarrolle una metodología de evaluación más robusta que permita asignar valores numéricos en función de las mejores prácticas internacionales. Que el software se desarrolle en un servidor, que permita poder interactuar con la información en línea.

Una futura aplicación es un sistema de indicadores más robusto que permita incluir cada vez más el aspecto social, de manera tal que permita integrar subsistemas, y poder darle solución con metodologías de sistemas complejos.

O bien poder optimizar los recursos para que el proyecto de infraestructura carretera en México sea cada vez más redituable a la par que sustentables.

Bibliografía

- AASHTO. (2004). *A Policy on the Geometric Design of Highway and Streets (5ta ed.)*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). USA.
- Alarcón Núñez, D. (2005). *Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Amiril, A., Nawawi, A. H., Takim, R., & Latif, S. N. F. A. (2014). *Transportation Infrastructure Project Sustainability Factors and Performance*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 153, 90-98. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.044>
- Brown, B. J., Hanson, M. E., Liverman, D. M., & Merideth Jr, R. W. (1987). *Global sustainability: toward definition*. *Environmental management*, 11(6), 713-719.
- CH2M HILL, University of Washington, Texas Transportation Institute, High Street Consulting Group, & Webkey LLC. (2012). *INVEST Sustainable Highways Self-Evaluation Tool*.
- Clevenger, C. M., Ozbek, M. E., & Simpson, S. (2013). *Review of sustainability rating systems used for infrastructure projects*. Paper presented at the 49th ASC Annual International Conference Proceedings.
- Commission on Sustainable Development. CSD. (2009). *Report on the Institutionalizing Sustainable Development Indicators for Measuring Progress of National Strategies* (pp. 1–126).
- Federal Highway Administration. (2012). *Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool INVEST*. Version 1.0 Washington, EUA.
- Fernández, G. (2010). *Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/5524/1/GONZALO_FERNANDEZ_SANCHEZ.pdf
- FIDIC (International Federation of Consulting Engineers) (2004). "Project Sustainability Management Guidelines." Geneva, Switzerland.
- FHWA. (2012). *INVEST, www document*. URL <https://www.sustainablehighways.org/1/home.html>
- FHWA. (2012). *INVEST- Webcast Launch [WWW document]*. URL <http://mp125118.cdn.mediaplatform.com/125118/wc/mp/4000/5592/5599/18858/Archive/default.htm?ivt=%7B6d0eccff-4ff1-bba1-c102-d80de1a4a7f5%7D>
- Gambatese, J. A., & Rajendran, S. (2005). Sustainable Roadway Construction: Energy Consumption and Material Waste Generation of Roadways. *Construction Research Congress 2005* (pp. 1–13). Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/40754(183)21.
- Glavič, P., & Lukman, R. (2007). *Review of sustainability terms and their definitions*. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1875-1885.
- Greenroads. (2011). *Greenroads Abridged Manual v1.5 [WWW document]*. URL <http://www.greenroads.org/366/download-the-manual.html>
- Greenroads. (2012). *Greenroads [WWW document]*. URL <http://www.greenroads.org/1/home.html>
- Huang, R. Y., & Yeh, C. H. (2008). *Development of an assessment framework for green highway construction*. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 31(4), 573-585.
- International Federation of Consulting Engineers. (2012). *State of the World Report 2012* (pp. 1–45).
- International Institute for Sustainable Development. (2012). Sustainable Development Timeline. Retrieved February 14, 2013, from http://www.iisd.org/pdf/2012/sd_timeline_2012.pdf
- Instituto Mexicano del Transporte, 1999. *Catálogo de Impactos Ambientales Generados*

por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. SCT, México.

- Lee, J. C., Edil, T. B., Benson, C. H., & Tinjum, J. M. (2011). *Evaluation of Variables Affecting Sustainable Highway Design With BE2ST-in-Highways System*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2233(-1), 178–186. doi:[10.3141/2233-21](https://doi.org/10.3141/2233-21)
- Luthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.-M., Siegenthaler, U., . . . Stocker, T. F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000[thins]years before present. *Nature*, 453(7193), 379-382. doi:http://www.nature.com/nature/journal/v453/n7193/supinfo/nature06949_S1.html
- Shen Liying, Wu Yuzhe, & Zhang Xiaoling. (2011). Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 137(6), 441-451. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000315.
- Mendoza S. J. F., (2014). *Criterios de Sustentabilidad para Carreteras en México*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte, 392.
- National Research Council of the National Academies. (2009). *Sustainable Critical Infrastructure Systems*. A Framework for Meeting 21st Century Imperatives. Washington, D.C.:National Academies Press.
- OECD. Organization of Economic Cooperation and Development. (2001). *OECD Environmental Indicators Towards Sustainable Development*.
- Pachauri, R. K., Allen, M., Barros, V., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., . . . Dasgupta, P. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, México, Gobierno Federal en: <http://www.pnd.gob.mx>
- Protocol, K. (1997). United Nations framework convention on climate change. *Kyoto Protocol, Kyoto, 19*.
- Rijsberman, M. A., & Van de Ven, F. H. M. (2000). Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), 333–345. doi:10.1016/S0195-9255(00)00045-7
- Rojas, O. C., (2003). *El desarrollo sustentable: un nuevo paradigma para la administración pública*. Instituto Nacional de Administración Pública A.C. México.
- Sarsam S (2013). *Implementation of sustainable roadway concept for a better transportation future*.
Open Journal of Architectural Design; OJAD, 1(1): 10-16. Sciknow Publications Ltd. USA.
- Sarsam S (2014). *Design Categories for Sustainable Roadway System*. Proceeding, First International Scientific Conference, 1st ISC- 2014, China University, Erbil, Iraq, April 20th - 21st 2014.
- SEMARNAT, 2000. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. *Guía para Elaborar la Manifestación de Impacto Ambiental en la Modalidad Regional de Proyectos de Vías Generales de Comunicación*. Diario Oficial de la Federación 30 mayo 2000.
- Seo, S., Aramaki, T., Hwang, Y., & Hanaki, K. (2004). Fuzzy Decision-Making Tool for Environmental Sustainable Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3), 415–423. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:3(415)
- Servicios Técnicos (DGST) de la SCT, 2011.
- United Nations ESCAP. (2006). *Sustainable Infrastructure in Asia: Overview and Proceedings* : Seoul

World Bank. (1994). *Informe sobre el desarrollo mundial 1994: Infraestructura y desarrollo - Resumen* (Vol. 1).

Mesografía

www.edomex.gob.mx página oficial del Gobierno del Estado de México.

www.inegi.gob.mx página oficial del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

www.semarnat.gob.mx página oficial de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

www.gob.mx/sct página oficial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_mexico Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de México