

SECRETARÍA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

PROYECTO PROMETEO

FORMATO DE PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

|   |   |  |  |                      |     |
|---|---|--|--|----------------------|-----|
| <b>Nombres del Investigador (a) / Asesor (a)</b>  | Luis Esteban  | <b>Apellidos del Investigador (a) / Asesor (a)</b>           | Amador Jiménez                                   |                      |     |
| <b>Área de investigación</b>  | Sistemas de información y gestión vial  |  |  |                      |     |
| <b>Título de PhD.</b>   | Ingeniería Civil  | <b>Universidad que otorgo el doctorado</b>                   | University of New Brunswick, Canada              |                      |     |
| <b>institución de acogida (PRINCIPAL) – Ciudad de localización</b>                            | Universidad Técnica de Machala - Machala  | <b>Nombre de la contraparte en la institución de acogida</b> | Dr. Favian Maza Valle                            |                      |     |
| <b>Institución de Educación Superior de acogida (COMPLEMENTARIA) – Ciudad de localización</b> | NO APLICA   | <b>Nombre de la contraparte en la institución de acogida</b> | NO APLICA  |                      |     |
| <b>Nombre de la investigación con la que el Investigador (a) / Asesor (a) contribuye</b>      | Sistema de Gestión Vial: Patología de fallas en pavimentos, modelos de deterioro y toma de decisiones para el mantenimiento de la red estratégica provincial de El Oro. |  |  |                      |     |
| <b>Objetivo general de la investigación</b>   | Desarrollar sistemas de gestión vial para la red vial estratégica de El Oro   |  |  |                      |     |
| <b>Fecha de inicio de actividades</b>   | 1ER PERIODO 08-07-2013<br>2DO PERIODO 05-06-2014  | <b>Fecha final de actividades</b>                            | 1ER PERIODO 27-08-2013<br>2DO PERIODO 29-08-2014 |                      |     |
| <b>Total meses de vinculación</b>   | 4.5 meses, en dos trectos uno en el año 2013 y otro en el año 2014  |  |  |                      |     |
| <b>Número de vinculación</b>  | <b>Primera</b>  | (X)  | <b>Postulación</b>                               | <b>Individual</b>    | (X) |
|   | <b>Segunda</b>  | ( )  |  | <b>Institucional</b> | ( ) |

**Perfil de Investigador (a) / Asesor (a)**

Profesor e Investigador - Universidad Concordia, Montreal, ha desarrollado modelos de gestión de pavimentos para Tanzania, Bangladesh, Costa Rica, New Brunswick, Alberta y la ciudad de Kindersley. Contribuciones hechas al estado del arte en gestión de infraestructura: coordinación espacial-temporal, integración de sistemas de gestión de transporte y modelos económicos espaciales, toma de decisiones con múltiples objetivos y tipos de infraestructura, modelos de desempeño con base en dos auscultaciones de la red vial y modelos de detección de efectividad del mantenimiento vial. Previamente Ingeniero Estructural, Director de Ingeniería municipal, Director de Estudios Técnicos - Cámara Costarricense de la Construcción y miembro director del CONAVI, máxima autoridad en carreteras en Costa Rica.

#### 1. Pregunta de investigación, así como su delimitación espacial, temporal.

Inexorablemente los pavimentos de cualquier red vial se deterioran a través del tiempo, dicho deterioro depende del tipo de estructura (materiales y calidad constructiva), las cargas de tránsito (uso) y la exposición a las variaciones del clima (lluvia y temperaturas). La red provincial de El Oro cuenta con 398 km de carreteras estatales y 2,646 km de carreteras cantonales, de las cuales 9.7% son de superficie asfáltica, 44% lastre y 46% tierra. Dicha red vial sirve para el movimiento de mercaderías hacia mercados locales e internacionales (exportaciones), así mismo da accesibilidad al movimiento de personas (locales y turistas). Según el plan vial provincial del 2003, 9% de las carreteras se encontraban estado bueno o muy bueno, 13% regular y 78 % malo o muy malo. Carreteras en mal estado impiden el acceso oportuno a los servicios básicos de salud y educación, dañan los productos, alargan los tiempos de transporte desde el sitio de producción hasta el sitio de consumo o puerto de exportación, incrementan los costos de transporte y consecuentemente incrementan los costos finales del producto, lo cual reduce la competitividad de la región y podría inclusive resultar en la pérdida de empleos o el rezago en desarrollo económico. El mantenimiento periódico y planificado puede revertir esta tendencia; si de manera planificada se rehabilita la red y se programan actividades de conservación. Es común que la cantidad de recursos monetarios anuales representen solo una pequeña fracción de las necesidades presupuestarias totales de recuperación completa de la red. A nivel internacional se ha demostrado que un sistema de gestión es capaz de utilizar el presupuesto anual y optimizar la atención de la red de manera que se utilicen los recursos en las carreteras vitales para la economía y para la accesibilidad de la población a los servicios básicos (salud, educación) y mercados locales. Un sistema de gestión también es capaz de identificar las necesidades presupuestarias en el largo plazo, de identificar el momento oportuno de intervención y de reducir el gasto del gobierno, todo esto manteniendo las carreteras en buena condición. En ciertos casos se ha logrado inclusive reducir significativamente las necesidades presupuestarias anuales después de un periodo inicial de recuperación. El plan vial de la provincia de El Oro (2003-2013) estableció la necesidad de invertir consistentemente en conservación vial como uno de los pilares fundamentales de soporte a las actividades económicas de la región, sin embargo también identificó la falta de un sistema de gestión vial. Ciertamente el gobierno de la provincia ha trabajado arduamente en identificar las rutas vitales, estableció en el 2003 un eje vial estratégico principal y estimó que se ocupaban \$6.443.600 con el fin de recuperar la red en su totalidad (reconstrucción y rehabilitación), asimismo en aquel año se identificó la necesidad de invertir periódicamente unos \$724 900 en el mantenimiento de la red vial, sin embargo dichas necesidades se desactualizan constantemente, pues al recuperar una carretera en mal estado se generan nuevas necesidades de mantenimiento periódico. Similarmente, la falta de atención oportuna de una carretera produce un incremento en las necesidades de rehabilitación y/o reconstrucción. Esto significa que la gestión de una red vial es dinámica en tiempo y no estática, como erróneamente podría deducirse al ver un plan vial que solo muestra una valoración en un momento dado. Un sistema de gestión es necesario inclusive si el gobierno fuera capaz de adquirir hoy la totalidad de los recursos y de atender todas las necesidades actuales, recuperando al 100% la red vial, aun así la red empezaría a deteriorarse de nuevo. Es por ello que las necesidades de conservación y rehabilitación deben de estimarse con base en criterios de costo y efectividad con el fin de identificar cuál tratamiento, en qué periodo de tiempo y a cuál pavimento aplicarlo. Solo así, mediante un sistema de gestión, se logra generar un programa sostenido de atención en el largo plazo, que en función del desempeño logre hacer el mejor uso de los recursos, ello es: minimizando el costo y maximizando la condición promedio de las carreteras en la red vial estratégica principal.

La pregunta de investigación de la presente propuesta es la siguiente:

Cómo obtener un sistema de gestión que permita mantener las carreteras de la red estratégica de la provincia de El Oro en buenas condiciones a lo largo de los próximos 20 años gastando la menor cantidad de recursos económicos.

**2. En esta parte señale claramente cuál será la contribución de la investigación en el área del conocimiento respectiva.**

La investigación desarrollara un sistema de gestión vial para la red estratégica principal de la provincia de El Oro que permitirá optimizar el uso de recursos hasta el año 2033. Este sistema podría servir de ejemplo y posteriormente ser adaptado por otros gobiernos provinciales o en la red cantonal de los municipios, un seminario de gestión de pavimentos capacitara ingenieros en sistemas de gestión y utilizara el sistema aquí desarrollado como plan piloto para mostrar de manera concreta el producto final, sus capacidades y beneficios.

Dicho sistema de gestión vial involucra tres elementos:

- (1) la tipificación de patologías de daño en las carreteras y la estimación de la condición actual de las vías de la red estratégica provincial.
- (2) La determinación de los tratamientos de conservación, mantenimiento y rehabilitación, su efectividad, costo y el momento oportuno de aplicación de acuerdo a la progresión de daño anual en las carreteras.
- (3) La determinación de modelos de deterioro. En adición se desarrollara un sistema de toma de decisiones.

En el elemento (1) se desarrollara un manual de patologías de daño de pavimentos, y efectuara una valoración de la condición de la red vial (auscultación) para determinar su condición actual, el daño por secciones, los tratamientos correctivos recomendables y la etapa de vida útil en la que cada sección del pavimento se encuentra. Esta información será guardada en una base de datos georeferenciada y servirá para el mantenimiento de las carreteras provinciales. La base de datos deberá actualizarse periódicamente (anualmente).

El Segundo elemento (2) identificara y compilara las prácticas locales de tratamientos de mantenimiento de carreteras y rehabilitación así como su costo. En el segundo año se identificara las efectividades promedio de cada tipo de tratamiento y se establecerá la ventana operativa en la vida de la carretera en la cual se considera oportuno aplicarlo, en virtud de que se logra corregir el daño de la carretera y extender su vida útil. Este segundo elemento juega un rol primordial en la priorización de tratamientos por cuanto solo los tratamientos con iclas razones de costo/beneficio más altas serán finalmente utilizados. **Esto permitirá identificar cual carretera intervenir, en qué año (periodicidad) y con cual tratamiento.**

El elemento (3) dividirá la red provincial en grupos homogéneos (familias de pavimentos) dentro del inventario de segmentos de las rutas provinciales con el fin de agrupar las carreteras que se comportan de manera similar en términos de deterioro. Adicionalmente se integrara al sistema una encuesta de carga de tráfico, y se identificara cuales otros factores ambientales, y constructivos (tipo de superficie de la carpetas y estructura) afectan el deterioro. Una segunda visita de la red vial se utilizara para desarrollar modelos de deterioro, en específico se desarrollara una curva de deterioro por familia de pavimentos, estas serán utilizadas para predecir el estado de condición de la red a lo largo del tiempo y la vida media útil. **Este modelo se unirá al de toma de decisiones para identificar el momento más oportuno en el que se debe reparar una sección de pavimento de manera que se logre las mejores razones costo/beneficio a lo largo de la vida de las carreteras.**

En paralelo a la recolección de datos se desarrollara un sistema de toma de decisiones que permita visualizar estrategias de inversión bajo diversos escenarios, el sistema permitirá analizar como la condición de las carreteras depende del presupuesto anual de conservación y mantenimiento, de la efectividad y disponibilidad de tratamientos de manteamiento y rehabilitación y de la atención oportuna de las carreteras. Este sistema podrá ser utilizado por el gobierno provincial para programar la atención de la red vial estratégica mediante intervenciones de conservación, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

En su totalidad el sistema servirá para demostrar un sistema de gestión vial moderno que resulta en minimización del costo y alcance de carreteras en buen estado, capaces de servir a las actividades económicas (de exportación y consumo local) y de accesibilidad a los servicios básicos de la población.

**3. La metodología a utilizarse en la investigación. En esta parte se debe demostrar la viabilidad de la investigación.**

**El elemento (1)** requiere una visita a la red vial de El Oro, con el fin de identificar los tipos principales de patologías de falla y de daño. Con base en esto se desarrollara un manual de patologías de daño que permita al ingeniero de carreteras determinar cuáles son los factores de daño comunes, y estos se ligan a una edad aparente del pavimento con el fin de asignarle una duración esperada de vida útil.

El segundo paso de este primer elemento consiste en el mapeo de la red provincial con el fin de establecer cuales segmentos muestran daño y requieren reparación (preventiva, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción), se propone que el investigador entrene estudiantes de la universidad y elabore en conjunto la evaluación de una quinta parte de la red, dejando el resto del mapeo a los estudiantes para que sea elaborado en el ínterin entre las dos etapas anuales del proyecto. Dicha información de condición actual se recolectara utilizando un automóvil, un computador portátil, un sistema de GPS y un inspector, de manera visual, y con ayuda del manual de tipificación de fallas que servirá de guía para la clasificación, se deberá respaldar por fotografías o video y se realizara en dos momentos en tiempo separados un año de distancia aproximadamente. Comprende la totalidad de la red con el fin de permitir que el pavimento se deteriore al estar expuesto a un año de tránsito y las fluctuaciones climáticas correspondientes. La información recolectada será archivada en dos bases de datos que serán posteriormente unidas, en Excel mediante un ordenador portable durante el recorrido de la red, y utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS) para identificar la ubicación espacial del inicio y fin de cada segmento por reparar. Los puntos de inicio y fin de cada segmento por reparar se sobrepone sobre el mapa tipo shapefile disponible en el sitio de internet del gobierno de Ecuador, y finalmente los datos de condición se unen al importar el archivo de Excel en ARCGIS. Esto configura finalmente una base de datos georeferenciada que se utiliza para visualizar y para tomar decisiones de conservación, mantenimiento y rehabilitación de la red.

**El segundo elemento** involucra inicialmente una compilación de información. En una segunda etapa en el segundo año del proyecto, utiliza la información de ambas evaluaciones de la red vial con el fin de establecer la efectividad media de cada tratamiento en términos del valor esperado de extensión de vida útil. Se asume que el gobierno provincial facilitara los datos de las rutas que han sido mejoradas y el tipo de conservación o rehabilitación que se les ha efectuado. Es importante indicar que el sistema estimara una edad aparente de cada segmento que a la vez se conecta con la razón de deterioro anual que se estimara en el tercer elemento (explicado más adelante). Una porción de las observaciones consistirá de segmentos que recibieron tratamiento y por lo tanto estos sirven para extraer la efectividad. La otra porción de carreteras que no fueron tratadas se utiliza en el tercer elemento (ver más adelante en este documento) para desarrollar modelos de deterioro. También es importante indicar que en este segundo elemento de la investigación se ligara la tipificación de patologías a los tratamientos más efectivos según recomendaciones del instituto del Asfalto y de la asociación de Cemento Portland para carreteras asfaltadas, y de criterios técnicos para las de lastre o tierra.

**El tercer elemento** requiere el conteo de vehículos por ruta (en diferentes puntos a lo largo de cada ruta) con el fin de estimar el flujo vial y de determinar tránsito promedio diario y ejes equivalentes de carga (ESALs) asimismo se estimaran porcentajes de camiones (mezcla de vehículos). Para esto es posible que el gobierno provincial tenga estos datos, en caso contrario se puede utilizar estudiantes que visiten la red, observaciones en sitio mediante voluntarios locales, radares móviles, contadores neumáticos, etc. Información climatológica se utilizara como ultimo criterio para agrupar las carreteras en familias de pavimentos (secciones homogéneas). Los grupos serán desarrollados en niveles, por ejemplo intensidad de tránsito, baja, media, alta, zona climática, o tipo de pavimento (concreto o asfalto).

Una vez ligadas las tipologías de daño con los tratamientos adecuados, identificadas las curvas de deterioro, y divididos los pavimentos en grupos, solo resta priorizar como se gastan los recursos presupuestarios anuales en la atención de las rutas que tengan más valor económico y uso (vehículos) y cuyo deterioro sea más acelerado. Un sistema de toma de decisiones integra todos estos elementos y

permite correr escenarios y simular el impacto de diferentes estrategias y posibles decisiones.

Dicho sistema informático de toma de decisiones es guiado por una optimización ya sea programación lineal dinámica binaria o un algoritmo heurístico binario, este tipo de sistema puede desarrollarse de varias maneras, una es utilizando un lenguaje de programación como C++ en combinación con un programa de optimización como LPABO (gratis y de uso abierto), o mediante *visual basic macros* para Excel (VBA) en combinación con un sistema de optimización comercial como *Frontline Solver*, o mediante un sistema de lenguaje matemático dirigido como *AMPL* (por sus siglas en inglés "A mathematical programming language"). El investigador cuenta con un prototipo funcional en Excel y una licencia personal del software REMSOFT que se utiliza actualmente por otras instituciones como la Universidad de Costa Rica o la provincia de New Brunswick en Canadá para el modelaje de la red vial. Estos sistemas que el investigador tiene pueden utilizarse para validar los resultados y verificar la operación adecuada del sistema que se desarrollaría localmente en Ecuador para la provincia de El Oro y que podría a futuro adaptarse para el gobierno nacional o para otros gobiernos provinciales o municipales.

Es importante indicar que este tipo de sistemas han demostrado su habilidad de ahorrar recursos y reducir presupuestos de los gobiernos que los utilizan y que es factible -posteriormente en una segunda etapa- combinarlos con sistemas de otros activos (puentes, tuberías, etc.), o ampliarlos para considerar otros objetivos como seguridad vial, impacto ambiental, costos de usuario, etc.

#### 4. Productos esperados

En esta sección favor llenar el siguiente cuadro. Favor no modificar los componentes y obligatoriamente se debe cumplir con los componentes 1, 4 y 7. Si algún componente no aplica, favor colocar N/A

| COMPONENTES   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS   | RESULTADOS POR OBJETIVO   |
|---|---|---|
| 1 INVESTIGACIÓN   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar patologías de daño</li> <li>2. Mapear la condición actual de las carreteras</li> <li>3. Desarrollar un sistema Informático de toma de decisiones</li> <li>4. Desarrollar modelos de deterioro</li> <li>5. Determinar escenarios y plan de inversión</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manual de Patologías de daño.</li> <li>2. Mapeo de la red vial estratégica provincial de El Oro en una base de datos en ARCGIS y valoración de la condición actual de cada segmento de las carreteras, y posible tratamiento que es aplicable.</li> <li>3. Software de toma de decisiones (escenarios de inversión y programa de gestión vial)</li> <li>4. Curvas de deterioro por familia de pavimentos, estimación de vida útil media, estimación de efectividad de los tratamientos</li> <li>5. Plan de inversión con análisis de posibles escenarios de inversión con el costo anual, condición promedio y programa de proyectos</li> </ol> |
| 2 CAPACITACIÓN CIENTÍFICA EN EL ÁREA PERTINENTE A SU ESPECIALIDAD (teórico y formativo) | NO APLICA   | NO APLICA   |

| COMPONENTES  | OBJETIVOS ESPECÍFICOS  | RESULTADOS POR OBJETIVO   |
|--|--|---|
| 3 ASESORÍA EN LA ELABORACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS | Explorar junto con el gobierno provincial la introducción de políticas públicas relativas a la necesidad de contar con un sistema de gestión con elementos tales como: inspecciones anuales de la red vial, sistemas de toma de decisión y justificación de que los tratamientos que se realizan obedecen a razones costo beneficio. Ver por ejemplo Ley 7798 de Costa Rica o el "Highway Act" de la provincia de New Brunswick. | Propuesta de elementos normativos relativos a gestión vial, con el fin de que el gobierno valore su adopción.   |
| 4 DOCENCIA   | <p>PARTE UNO<br/>Divulgar los fundamentos teóricos y prácticos de los sistemas de gestión de pavimentos</p> <p>PARTE DOS<br/>Capacitación de ingenieros en aéreas técnicas relativas a la gestión de pavimentos mediante 4 tesis de grado, en conjunto con profesores de la Escuela de Ingeniería Civil e Informática de la Universidad Técnica de Machala.</p>  | <p>Uno o dos seminarios de sistemas de gestión de Pavimentos para estudiantes de la Universidad, ingenieros viales de las municipalidades y el gobierno provincial. Sería ideal un seminario en el año 1, y otro al finalizar el plan de inversión y el sistema de gestión, de manera que se puede explicar su funcionamiento y la información requerida, para que otras entidades puedan replicar los productos aquí obtenidos de manera autónoma.</p> <p>Estudiante en Informática, título de tesis: "Un sistema de soporte para la toma de decisiones en mantenimiento y rehabilitación vial"</p> <p>Estudiante de Ing. Civil 1, título de tesis: "Un Manual de tipificación de patologías de daño y tratamientos sugeridos"</p> <p>Estudiante de Ing. Civil 2, título de tesis: "Modelaje de deterioro de pavimentos en la provincia de El Oro"</p> <p>Estudiante de Ing. Civil 3, título de tesis: "Investigación de escenarios de inversión para el óptimo mantenimiento de la red vial estratégica de la Provincia de El Oro".</p> |
| 5 ASESORÍA Y DISEÑO DE PROGRAMAS DE POSTGRADO      | NO APLICA  | NO APLICA   |

| COMPONENTES   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS   | RESULTADOS POR OBJETIVO   |
|---|---|---|
| 6 GESTIÓN DE RECURSOS NACIONALES E INTERNACIONALES (administrativos, humanos, económicos, etc.) | NO APLICA   | NO APLICA   |
| 7 RELACIONAMIENTO ESTRATÉGICO INTERINSTITUCIONAL NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL                 | Se espera establecer una colaboración permanente entre la Universidad de Concordia y la Universidad Técnica de Machala. Es posible que estudiantes de Ingeniería Civil de Machala puedan continuar estudios de Maestría en Concordia. | Lograr una vinculación entre la Universidad de Machala y la Universidad de Concordia. |

|  |   |
|--|---|
| Firma y sello de la contraparte de la institución de acogida |   |
| Nombre de la contraparte de la institución de acogida        |   |
| Fecha de la propuesta  | 18 de Mayo de 2013  |