

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Facultad de Economía

**Disertación previa a la obtención del título de
Economista**

**Incorporación del efecto del cambio climático en la
infraestructura vial en Ecuador.
Caso corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan**

Mateo Sebastián Proaño Paredes

msproano@puce.edu.ec

Directora: Jacqueline Contreras Díaz PhD.

vjcontreras@puce.edu.ec

Quito-Ecuador

2023

Contenido

Incorporación del efecto del cambio climático en la infraestructura vial en Ecuador.	1
Caso corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan	1
Introducción	5
Planteamiento del problema	5
Planteamiento de la Justificación.....	6
Preguntas de investigación	7
Pregunta general.....	7
Preguntas específicas	7
Objetivos	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
Capítulo 1: Fundamentación teórica y metodología.....	8
Economía Ambiental.....	8
Análisis Coste - Beneficio.....	9
Identificación de las alternativas relevantes.....	9
Diseño de un escenario de referencia	10
Identificación de los costes y beneficios.....	10
Valoración de los costes y los beneficios	10
Actualización	10
Riesgo e incertidumbre.....	11
Criterios de selección.....	11
Seguimiento y control	11
Riesgo, vulnerabilidad y sensibilidad	11
Metodología y datos.....	12
Gráfico Variables y supuestos del proyecto.....	14
Capítulo 2: Cambio climático	15
Introducción	15
Cambio climático	15
Gráfico No.1 aumento del CO2 en toneladas.....	16
Gráfico No.2 precipitaciones Ecuador (1995-2021).....	18
Gráfico No.3 temperatura máxima Ecuador (1995-2021).....	18
Daños y pérdidas por el cambio climático.....	19
Mitigación.....	20
Adaptación.....	20
Infraestructura vial.....	22

Conclusión	23
Capítulo 3: Vulnerabilidad e impactos económicos	24
Introducción	24
Riesgo climático	24
Mapa No.1 primer escenario Amenaza climática ante el aumento de la temperatura media. Escenario de emisiones medias.....	25
Mapa No.2 Amenaza climática ante el aumento de la temperatura media. Escenario de emisiones alta.....	25
Mapa No.3 Amenaza climática ante el aumento de la precipitación total. Escenario de emisiones medias.	26
Mapa No.4 Amenaza climática ante el aumento de la precipitación total. Escenario de emisiones altas.....	27
Mapa No.5 Riesgo climático de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas. Clima histórico.....	28
Mapa No.6 proyecto vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan	29
Riesgos y vulnerabilidad infraestructura vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan	29
Gráfico No.5 comportamiento de las precipitaciones en Los Ríos.....	30
Gráfico No.4 comportamiento de la temperatura media en Los Ríos	30
Mapa No.7 Zonas recurrentes a inundaciones provincia de Los Ríos	32
Mapa No.8 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas Los Ríos	33
Mapa No.9 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de la intensidad de lluvia Los Ríos.....	34
Gráfico No.6 comportamiento de las precipitaciones en Guayas.....	35
Gráfico No.7 comportamiento de la temperatura media en el Guayas.....	36
Mapa No.10 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas Guayas.....	37
Mapa No.11 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de la intensidad de lluvia Guayas	38
Conclusión	38
Capítulo 4: Análisis costo-beneficio	40
Introducción	40
Análisis costo-beneficio	40
Mapa No.12 zonas propensas a inundarse la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan	41
Escenario 1.....	42
Gráfico No.8 stock de carretera pavimentada por año.. ¡Error! Marcador no definido.	
Escenario 2.....	43
Conclusión	47

Referencias.....	49
Anexos.....	53
1 Gráfico vulnerabilidad, sensibilidad y riesgo climático	53
2 Gráfico etapas para el análisis costo-beneficio	54

Introducción

Planteamiento del problema

América Central y del Sur, según informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), están altamente expuestos y vulnerables al cambio climático, situación que se empeora debido a diferentes factores como: la pobreza, el crecimiento demográfico, el constante cambio en el uso de suelos y la deforestación que causan una grave pérdida de biodiversidad y degradación en el suelo. Esto provoca una afectación a varios sectores, al alterar su composición de manera no natural lo cual ocasionaría que su vida útil se disminuya como en el caso de la infraestructura y como lo remarca el IPCC es por la falta de financiamiento en infraestructura, por lo que es pertinente realizar un estudio de su adaptación (Castellanos, et al., 2022).

Además, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (UNDESA) nos comenta que América Central y del Sur es la segunda región más urbanizada del mundo, cuenta con cinco megaciudades, y la mitad de la población urbana que reside en la urbe, en ciento veinte y nueve ciudades secundarias (UNDESA, 2019), se encuentran afectadas por “calor extremo, sequías, fuertes tormentas, inundaciones, deslizamientos de tierra” (Castellanos, et al., 2022, p. 1739).

Los cambios climáticos mencionados, sumados con la falta de eficiencia en la construcción de vías, su desigual distribución y déficit habitacional e informalidad y se han constituido en el problema más severo e importante para la región (Castellanos, et al., 2022).

De ahí que los expertos en el tema del cambio climático (ONU & Lara, 2017) “justifican que los gobiernos dirijan recursos económicos a medidas de adaptación al cambio climático” (p. 6).

Que frenen la propagación de efectos del cambio climático en las próximas décadas según IPCC, ya que varios sectores económicos se han visto comprometidos por la falta de adaptación y principalmente el de la infraestructura vial, que es el eje fundamental para la sociedad ya que ayuda a la conectividad, la cual se ha visto perjudicada por “olas de calor, sequías, inundaciones, aumento en el nivel del mar, y más eventos climáticos extremos que han alterado al sector, demandando a la humanidad a adaptarse al cambio climático” (p. 40).

Ejemplos de la afectación y los perjuicios del cambio climático en la región de América Latina se encuentra en México y Brasil que según BID “tienen la mayor distribución de tierra apenas por encima del nivel del mar, lo que les hace vulnerables ante el aumento de este nivel” (BID, 2012), y ha causado que al existir una alteración del nivel del mar afecte a su red vial en un estimado de “6.700 kilómetros” (BID, 2012) que ha causado perjuicios tanto económicos que estarían ligados al mantenimiento y construcción de las vías, como perjuicios sociales que afectan a la seguridad de las personas.

En Ecuador, las repercusiones del cambio climático han afectado al sector construcción y específicamente a la infraestructura vial, que es de suma importancia según el Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE) que la define como un “instrumento estratégico para impulsar y fortalecer el desarrollo económico y social de una provincia” (p. 2).

Causando que entidades como el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE) y el CONGOPE comiencen a analizar las distintas afectaciones que tiene la infraestructura vial al cambio climático, concluyendo que las vías del país son vulnerables a amenazas como el aumento de días con lluvia y su intensidad, además de los cambios en la temperatura media (CONGOPE, 2019).

En el marco jurídico y administrativo del Ecuador, el MTOPE es la entidad que “implementa y evalúa políticas, regulaciones, planes, programas y proyectos que garantizan una red de transporte seguro y competitivo, minimizando el impacto ambiental y contribuyendo al desarrollo social y económico del país” (MTOPE, 2018-2021). Además, ha trabajado con el CONGOPE en “incorporar el criterio vial que busca una redistribución más equitativa de los recursos para el Modelo de Equidad Territorial” (CONGOPE, 2021)

A pesar de la importancia de las vías y su potencial afectación por el cambio climático, no se encuentran en el país un plan que tome en cuenta al cambio climático para el diseño y mantenimiento de la infraestructura vial. De ahí que la presente investigación pretende aportar a esta problemática varios escenarios que tomen en cuenta al cambio climático a través de un análisis del costo – beneficio.

Siendo un tema macro y con alto nivel de complejidad, se realizará un estudio de caso a través del proyecto vial Buena Fe-Babahoyo-Jujan, porque esta carretera tiene gran importancia a nivel económico -según el MTOPE- y, luego de analizar el proyecto del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, falta incorporar el efecto del cambio climático sobre la misma vía.

Planteamiento de la Justificación

La repercusión de los efectos del cambio climático en la infraestructura hace indispensable incorporar su efecto en los proyectos de construcción de vías ya que ayudan a simular la adaptación que va a tener este proyecto para analizar su comportamiento y tomar decisiones más acertadas a la hora de construir la infraestructura vial para que, además, sean más adaptativas.

En muchos casos los proyectos de construcción solo plantean las posibles afectaciones ambientales que podría tener la construcción de la carretera, cuando la infraestructura vial está en fase de elaboración, pero en la mayoría de los casos no se analiza como el cambio climático puede afectar la composición de la carretera cuando ya se producen los impactos a esta infraestructura (CONGOPE, 2019).

De ahí que, es fundamental incorporar el cambio climático en los proyectos de infraestructura vial a través del análisis del costo-beneficio que nos ayuda a identificar y

analizar varios escenarios que puedan enfrentar el efecto del cambio climático para tomar una mejor decisión a la hora de construir el proyecto, además de analizar factores como la vulnerabilidad del sector, sus riesgos climatológicos y su sensibilidad para así tener una visión más clara del proyecto vial y como José Lara explica “asignar de manera eficiente, pero a la vez garantizando que las medidas que se llevarán a cabo cumplen con criterios que van más allá de lo económico y además que sean políticamente factibles” (p. 6).

Por lo que en el arco planteado de esta investigación se propone responder a las siguientes preguntas y objetivos.

Preguntas de investigación

Pregunta general

- ¿Cuáles son los costos y beneficios de los escenarios para enfrentar los daños que el cambio climático produce en la infraestructura vial, en el corredor vial Buena Fe- Babahoyo- Jujan, considerando el ámbito económico y ambiental?

Preguntas específicas

- ¿Cuáles son las condiciones de vulnerabilidad del corredor vial Buena fe- Babahoyo-Jujan frente a los cambios climáticos?
- ¿Cuáles es el escenario más recomendable para enfrentar los daños que el cambio climático produce en la infraestructura vial, en el corredor vial Buena Fe- Babahoyo Jujan, si se considera el análisis costo beneficio considerando el ámbito económico y ambiental?

Objetivos

Objetivo general

- Identificar los costos y beneficios de los escenarios para enfrentar los daños que el cambio climático produce en la infraestructura vial, en el corredor vial Buena Fe- Babahoyo- Jujan, considerando el ámbito económico y ambiental

Objetivos específicos

- Identificar las condiciones de vulnerabilidad del corredor vial Buena fe- Babahoyo-Jujan frente a los cambios climáticos.

- Evaluar el escenario más recomendable para enfrentar los daños que el cambio climático produce en la infraestructura vial, en el corredor vial Buena Fe-Babahoyo Jujan, si se considera el análisis costo beneficio considerando el ámbito económico y ambiental.

Capítulo 1: Fundamentación teórica y metodología

Los cambios en la temperatura siempre han sido una permanente en la historia de la tierra, hemos pasado del caliente al frío, de forma natural, por 4 mil 600 millones de años (Ruiz D. , 2019). Hoy por hoy, el cambio climático es -más que nunca- un hecho constante, y lamentablemente las acciones adoptadas por el ser humano no contribuyen a disminuir su efecto, sino más bien, a acelerarlo en detrimento de la humanidad.

Debido al incremento del cambio climático se han planteado varias alternativas para reducir los perjuicios que conlleva. En primer lugar, bajar la tasa de aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero a través de la mitigación (Common & Sigrid, 2005). En segundo lugar, aplicar la teoría de la compensación que propone generar actividades destinadas a obtener los efectos climáticos opuestos (Common & Sigrid, 2005). Por último, y la más utilizada para proyectos de construcción según IPCC, la aplicación de la teoría de la adaptación que promueve el hecho de que un sistema pueda ajustarse, el solo, frente al cambio climático. Afirman que, hoy en día, la variabilidad que existe en el clima ha comenzado a causar pérdidas y daños en distintos sectores, como el de la infraestructura (Castellanos, et al., 2022).

Es así como la adaptación actuaría como una respuesta a “acontecimientos físicos que pueden ser producidos en largos o cortos plazos de tiempo y que en un principio afectan a las personas” (Castellanos, et al., 2022, p. 2433). Alternativa que daría frutos a través de programas que alienten a plantear distintos escenarios y que busquen la mejor opción de adaptabilidad frente al cambio climático.

Ahora bien, el cambio climático presenta un momento al que conocemos como “riesgo”, que, según IPCC, “rara vez es impulsado por un único factor determinante”, por lo que en los estudios de análisis del cambio climático es importante mostrarlos a través de la vulnerabilidad, la sensibilidad que presenta ese sector y por la diferencia de aspectos geográficos que pueden variar según el lugar de análisis.

Para plantear el análisis del cambio climático en un sector, como el de la infraestructura vial, es necesario utilizar como punto de partida a la economía ambiental que nos ayuda a solucionar justamente los problemas ambientales y, más adelante, nos presenta un modelo que ayuda a comparar distintas soluciones de adaptabilidad frente al cambio climático a través del análisis costo beneficio.

Economía Ambiental

La economía ambiental surge como una medida de solución de los problemas ambientales, producidos por distintos tipos de causas y que, en parte, pueden ser naturales. A lo largo de la historia este problema se ha agravado por lo cual la economía ambiental trata de demostrar que las acciones del ser humano están trayendo consecuencias en el grado actual de degradación del medio ambiente (AZQUETA, 2007).

Resulta evidente, por consiguiente, que la biosfera y sus derivados causan una secuencia de servicios que poseen un indudable costo para la especie humana, debido a que le permiten saciar toda una secuencia de necesidades, empezando por las más básicas, aunque al usar los recursos naturales estos en algún momento por diversos factores comenzarán a deteriorarse por factores externos como el cambio climático, lo que ha hecho que los agentes económicos busquen incorporar este efecto en sus proyectos a través de distintas herramientas como la de coste beneficio.

Análisis Coste - Beneficio

Diego Azqueta, en su libro "Introducción a la economía ambiental", presenta la herramienta de análisis, coste beneficio, que se utiliza en la administración pública para analizar mejores decisiones a tomar, a través de "sopesar las ventajas y los inconvenientes de cualquier decisión" (p. 171).

El análisis coste - beneficio entonces, comienza como una necesidad de mejorar un tipo de problema y en el caso de esta investigación sería el daño de la infraestructura vial por el cambio climático a través de "estructurar la información relevante de una forma que pueda ayudar al decisor social en su tarea" (AZQUETA, 2007, p. 174), además como lo presenta (ONU & Lara, 2017) este análisis "expresa la rentabilidad de llevar a cabo una alternativa en términos monetarios" (p. 17) para ello es importante revisar las distintas etapas que este proceso conlleva.

Identificación de las alternativas relevantes

La primera etapa del análisis costo beneficio, que Azqueta presenta, es aquella que "establece la conveniencia de una alternativa en relación con otras" (AZQUETA, 2007, p. 174), lo cual plantearía a este análisis como uno comparativo, en el que se toman en cuenta varias alternativas existentes del proyecto que puedan ayudar al tomador de decisiones elegir la mejor opción.

Esto es fundamental en un proyecto para analizar el cambio climático, ya que en este análisis lo que se hará es mostrar varias alternativas para sopesar este problema, a través de distintas formas de adaptabilidad al cambio climático, que se comportan de distintas maneras, y así poder ver cuál de ellos para ese sector es el que mejor se adapta al cambio climático.

Diseño de un escenario de referencia

A esta segunda etapa, planteada por Azqueta, la define como la “evaluación de hasta qué punto una alternativa cualquiera ayuda a conseguir el objetivo que se ha propuesto el decisor, con respecto a qué hubiera ocurrido con la consecución de dicho objetivo en ausencia de la decisión que se está evaluando” (p. 175).

Cabe recalcar que en este proceso se debe contemplar aquel momento en el que el proyecto vial se encuentra sin ningún efecto del cambio climático, lo cual nos ayuda a ver si en verdad existe la necesidad de plantear alternativas frente al cambio climático ya que si este se adapta de la mejor manera y no presenta ningún tipo de alteración por el cambio climático esto mostrara que la mejor acción a tomar es dejar ese proyecto como se encuentra y no alterarlo (AZQUETA, 2007).

A este proceso, antes presentado, se lo denomina como “opción cero” (AZQUETA, 2007, p. 175)

Por otro lado, para plantear las alternativas que se debe incluir en la elaboración, en primer lugar, se incorporará al cambio climático y la forma en la que se puede solucionar este problema, esto ayudará a generar varias alternativas para combatir al cambio climático y ayudará a tomar una decisión más precisa y se contrastará con el escenario, opción cero.

Identificación de los costes y beneficios

En esta etapa el agente que realiza el análisis de coste - beneficio deberá “identificar todos aquellos aspectos de cada alternativa contemplada que le acercan o le alejan de la consecución del objetivo propuesto” (AZQUETA, 2007, p. 175).

Es decir que en esta etapa el agente encargado del análisis coste-beneficio deberá depender de los escenarios antes presentados y analizar las repercusiones que tendría en el proyecto.

Valoración de los costes y los beneficios

Esta etapa es la encargada de valorar dichos costes y beneficios, al “reducirlos a una unidad de medida común, que tenga relación con el objetivo perseguido, y que permita comparar los distintos componentes, tanto de los costes como de los beneficios, como ambos entre sí” (AZQUETA, 2007, p. 176), denominando dicho proceso como numerario y que, según Azqueta, sería porque ahí “se refleja su aportación a la consecución del objetivo buscado” (AZQUETA, 2007, p. 176).

Actualización

Esta etapa se definirá como la inter temporalidad, que sucede hasta que los efectos del cambio climático se presenten, es decir, “el analista se encontrará, por tanto, con una corriente de beneficios netos que se despliega a lo largo de varios ejercicios, durante la vida útil del proyecto en cuestión” (AZQUETA, 2007, p. 176), ya que se produce el efecto de la inter temporalidad, por lo cual es necesario mantenerlo en un único valor presente que tenga en cuenta esta cuestión, “y permita comparar la rentabilidad relativa de distintos proyectos cuyo perfil temporal puede diferir sustancialmente.” (AZQUETA, 2007, p. 176).

Riesgo e incertidumbre

Esta etapa nos muestra que, al realizar el ejercicio de simular el futuro, se generaran incertidumbres ya que se predeciría el futuro en sí. Además, hablando de la naturaleza en sí y su comportamiento, es impredecible porque actúa “por su propia naturaleza” (AZQUETA, 2007, p. 176) a cierto factor de riesgo e incertidumbre.

Entonces, “el analista ha de tomar en cuenta el riesgo y la incertidumbre ligados a los diferentes resultados, para penalizar aquellas opciones cuya varianza asociada es superior” (AZQUETA, 2007, p. 176).

Criterios de selección

Aquí se presentarán según Azqueta “una serie de indicadores de rentabilidad, además de los comentarios y la información adicional que considere oportunos, que resuman los aspectos esenciales del trabajo realizado, y le ayuden a formarse una opinión al respecto” (AZQUETA, 2007, p. 177)

Seguimiento y control

Por último, esta etapa consiste en analizar las desviaciones del proyecto, que como se había mencionado antes, tienen que ver con la forma de predecir el cambio climático y la capacidad de explicarlas, con todo el proceso realizado, para aprender de ellas y que en próximos proyectos sean tomadas en cuenta.

Estas etapas presentadas por Azqueta, según lo comenta, deben tener un análisis del sector y de su composición geográfica, ya que los sectores son diferentes y sus climas también por eso es pertinente antes de hacer el análisis costo beneficio, la vulnerabilidad, sensibilidad y riesgo.

Riesgo, vulnerabilidad y sensibilidad

El análisis del riesgo, vulnerabilidad y sensibilidad en un sector es de vital importancia ya que este proceso nos ayuda a identificar al sector a través de sus características geográficas, que, según el IPCC, es de suma importancia ya que situaciones como “La

inequidad, la pobreza, y la informalidad de las ciudades hacen que el problema de la vulnerabilidad aumente” (Castellanos, et al., 2022, p. 1693).

De ahí la importancia de que, en los proyectos en los que se quiere incluir el cambio climático, se analice, en primer lugar, el riesgo predominante en el sector, como las temperaturas extremas, los deslizamientos, las lluvias extremas, etc. para luego determinar la sensibilidad que tiene el sector frente a estos riesgos y conocer “el nivel en que un sistema se ve afectado, ya sea adversa o benéfica, por estímulos relacionados con el clima” (PIARC, 2015).

A partir de ahí, definir la vulnerabilidad y conocer el grado en el que un sistema es incapaz de enfrentar los efectos del cambio climático (Common & Sigrid, 2005), para incluir “políticas, planes de intervención que aborden estos desafíos sociales con enfoques inclusivos y representen oportunidades de adaptación” (Castellanos, et al., 2022).

Para concluir con el marco teórico de la presente investigación, se analizarán las afectaciones del cambio climático en la infraestructura vial, a partir de utilizar en un primer momento: el análisis de riesgo y vulnerabilidad, para analizar la situación geográfica de la vía que se realizará el estudio de caso y pasar a un segundo momento en el que se examinará la adaptación de dicha infraestructura, a través del costo beneficio, para proceder a implementar el cambio climático en el proyecto. Proyecto que será definido, en el caso corredor vial Buena Fe-Babahoyo-Jujan, y que se profundizará en el siguiente acápite.

Metodología y datos

Hablamos de una investigación con carácter inductivo ya que comenzará con un proceso de análisis de datos procedentes de fuentes secundarias y primarias, a partir de la cual se emplean premisas particulares para poder establecer conclusiones generales (Cegarra, 2012). Es decir, se recopilarán datos secundarios tomados por instituciones como CONGOPE, MTOP, MAE, INEC, BID y el World Bank que construirán una línea base de información, por otro lado, como fuente primaria se realizará una entrevista con un experto en la Ingeniería vial para la recopilación de costos y beneficios.

Los datos obtenidos por las instituciones antes mencionadas ayudaran a evaluar las posibles afectaciones que puede tener la infraestructura vial, comenzando con un análisis de la vulnerabilidad del sector, estableciendo el contexto geográfico y las implicaciones que tiene frente al cambio climático. Para este análisis se utilizará simulaciones climáticas que incluyen supuesto que permitan llegar a una valoración que presenta el CONGOPE, MAE y el World Bank para determinar su vulnerabilidad, que estaría dada por simulaciones hasta 2040.

Este análisis se realizará en la red vial Buena Fe-Babahoyo-Jujan que según MTOP es “uno de los ejes estratégicos que deben contar con condiciones de adecuadas prestaciones, considerando los beneficios que esta carretera presenta” (MTOP, 2020).

Después del análisis de vulnerabilidad, se realizará un análisis costo beneficio, utilizando la metodología del BID y comenzando con el planteamiento de los escenarios.

- Escenario sin incluir al cambio climático
- Escenario, incluyendo el cambio climático y la estructura anticipada frente al problema.

Los datos de los siguientes supuestos se los establecerá según lo que dispone el (BID, 2016) en su documento para estimar los costos incrementales del cambio climático en infraestructura que se complementara con información que dispone el MTOP Y CONGOPE que presentaría los costos que la infraestructura vial tiene y la temperatura media del sector.

El escenario sin cambio climático será tomado en cuenta, tal cual como lo representa el MTOP en su proyecto, ya que en él no se contempla este valor y su alcance será el de costos de construcción y mantenimiento.

Para el caso de la infraestructura anticipada se utilizará el estudio de pavimentos denso hecho por (ONU & Lara, 2017) en el cual incluye al cambio climático en el costo ya a través de esta inversión en infraestructura se puede reducir “riesgo de inundación en la ciudad” (p. 47), e incluyendo al cambio climático en su estructura, esto a través de la ecuación stressor-response que muestra que por cada grado de aumento de temperatura media, se requiere nuevo aglutinante de asfalto, por lo que el costo de capital aumenta 0,6% (Chinowsky, Schweikert, & Strzepek, 2010).

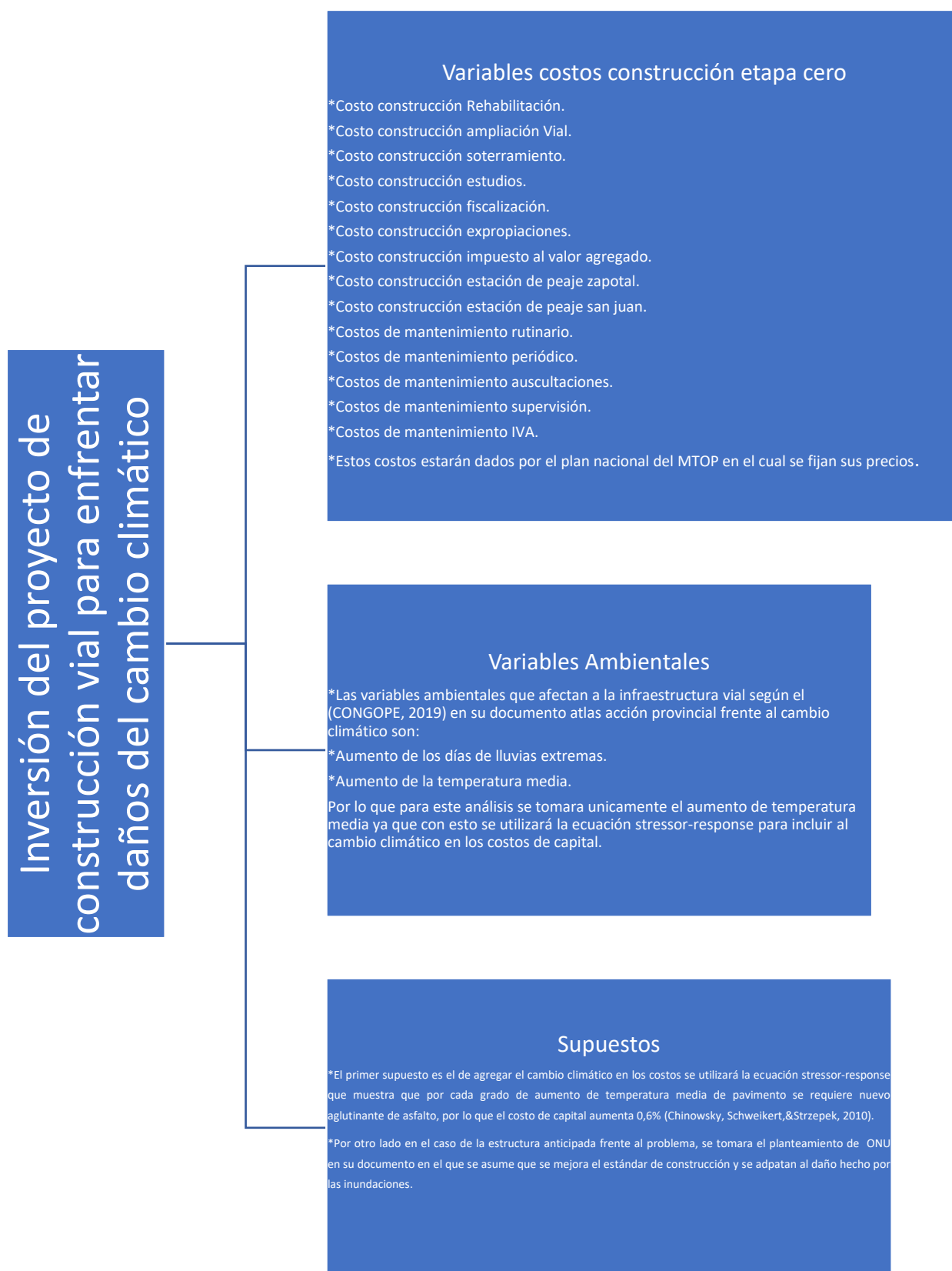
$$(\Delta\%c) = f(\Delta T)$$

De la misma manera, la infraestructura anticipada y el aumento de las frecuencias de mantenimiento, se analizará a través de la metodología que presenta (BID, Un marco para estimar los costos incrementales del cambio climático en infraestructura, 2016) en su documento, el apoyo técnico del CONGOPE y MTOP para establecer costos más precisos y la entrevista del ingeniero vial, que fortalecerá la información antes presentada.

Por último, cabe recalcar que la entrevista con el ingeniero vial ayudara a capturar de mejor manera los beneficios que puede presentar cada uno de los escenarios y así poder determinar de manera cualitativa los mismos.

Para concluir es indispensable agregar que el presente trabajo ayudará a seleccionar la mejor propuesta que hará frente, de manera más eficiente, al cambio climático y podrá establecer premisas para futuros proyectos viales.

Gráfico Variables y supuestos del proyecto



Elaboración propia con fuentes de: (BID, Un marco para estimar los costos incrementales del cambio climático en infraestructura, 2016), (MTOP, 2020), (CONGOPE, 2019) (ONU & Lara, 2017)

Capítulo 2: Cambio climático

Introducción

El problema del medio cambio climático ha sido muy relevante en los últimos años ya que ha comenzado a mostrar cambios negativos en los ecosistemas, en la sociedad y en la economía, que se espera que en las próximas décadas se intensifiquen. Por lo que, este capítulo abarcará uno de los temas más urgentes y complejos, que es el cambio climático y su repercusión en las pérdidas y daños de una población. Analizando como las pérdidas y los daños pueden adoptar muchas formas, incluido el daño físico.

Para poder realizar un breve vistazo a las medidas que ayudarían a frenar este proceso como sería la mitigación, la adaptación y elegir la más apropiada para frenar las alteraciones inesperadas provocadas por el cambio climático a la infraestructura vial.

Cambio climático

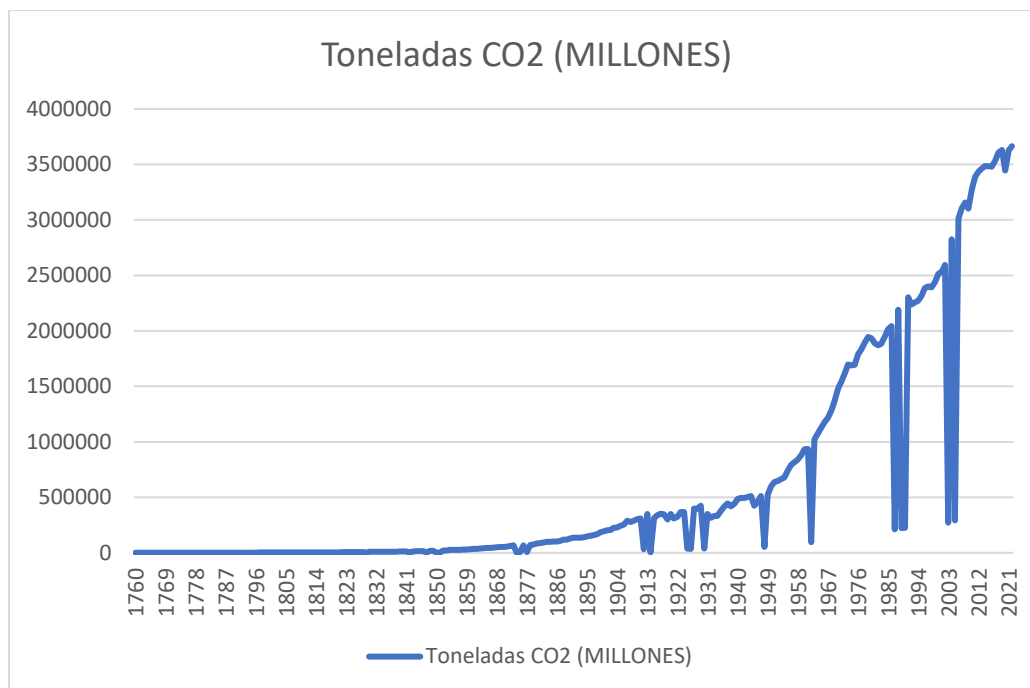
El cambio climático se refiere a un cambio en patrones climáticos en un largo período de tiempo, que puede ser impulsado por la actividad humana al realizar actividades como la quema de combustibles fósiles, deforestación y otros procesos industriales. Estas actividades en si liberan grandes cantidades de gases que son el dióxido de carbono, el metano, óxido nitroso y gases fluorados, a la atmósfera, que atrapan el calor y hacen que aumente la temperatura de la Tierra (Common & Sigrid, 2005).

Por lo que a lo largo de la historia se han comenzado a crear planes para enfrentar al cambio climático como el Acuerdo de París que fue adoptado en diciembre de 2015 por los 196 países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) con el objetivo principal de limitar el aumento de la temperatura global (Huq, Roberts, & Fenton, 2013).

Como resultado del aumento del calor de la tierra, el clima se altera de una manera no natural causando en distintos sectores impactos, que incluyen “episodios meteorológicos extremos, como olas de calor, precipitación extrema e inundaciones costeras, que se intensifican con mayores temperaturas” (2014, p. 12) lo que causa impactos ambientales, sociales y económicos significativos, afectando todo, desde la agricultura y la seguridad alimentaria hasta la salud humana y los patrones migratorios (Common & Sigrid, 2005).

Ejemplo de estos cambios serían los que presenta Ruiz (2019) que muestran que “Si este calentamiento se prolonga podría provocar el derretimiento total del casquete polar de Groenlandia, lo que haría aumentar el nivel del mar unos 7,2 metros” (p. 14). Lo cual significa que el calentamiento global y el aumento del nivel del mar provocado por las actividades humanas, son causadas por el constante aumentado de los niveles de CO2 como se presenta en el siguiente gráfico.

Gráfico No.1 aumento del CO2 en toneladas



Elaboración propia con datos de (Global Carbon Project 2022)

Como se puede ver en el gráfico No.1 desde la revolución industrial ha existido un incremento constante de los niveles de CO2 en la tierra, lo que, si bien es un fenómeno a largo plazo ha comenzado a presentar mayores efectos en la última parte de este siglo, que han provocado que se tomen medidas urgentes, como las que presentan NU. CEPAL, COMISION EUROPEA, GIZ, DFID, DANIDA en su documento the economics of climate change in Latin America and the Caribbean:paradoxes and challenges y dicen que se debe “estabilizar las emisiones reduciendo de aproximadamente 7 toneladas a 2 toneladas per cápita en los próximos 40 años” (2014, p. 16)

Este aumento del CO2 puede ser dado por factores como “quema de combustibles fósiles, deforestación y procesos industriales” (NASA, 2023). Que ha hecho que el IPCC en su informe sobre el cambio climático 2022 diga que “los ecosistemas han sido severamente afectados por la actividad humana; que producen un aumento de las emisiones de carbono. Y han conducido a una mayor preocupación para la preservación de los servicios de los ecosistemas” (IPCC, 2022, p. 1271).

Desde el comienzo de la Revolución Industrial, las actividades humanas han provocado que los niveles atmosféricos de CO2 aumenten de aproximadamente “280 partes por millón (ppm) a más de 380 ppm en la actualidad” (Bristow, 2020). Este aumento se está acelerando y la tasa de aumento ha sido más rápida en las últimas décadas debido al uso continuo de combustibles fósiles y la deforestación.

Por lo cual el cambio climático sería producido, en cierto modo, como una modificación o variación en la biosfera generada ya sea, por la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana a través la producción de residuos que generan manifestaciones como el efecto invernadero que se puede comprobar por el alza de la temperatura.

El cambio climático causaría varias implicaciones económicas al producir daños y pérdidas y que estudios presentados por varias instituciones estiman que algunos de los principales “factores económicos se encuentran ligados al aumento de la temperatura en la región, por ejemplo, la proyección del costo de un aumento de temperatura de 2,5°C es una pérdida de entre 1,5% y 5% del PIB” (NU. CEPAL, COMISION EUROPEA, GIZ, DFID, & DANIDA, 2014, p. 17).

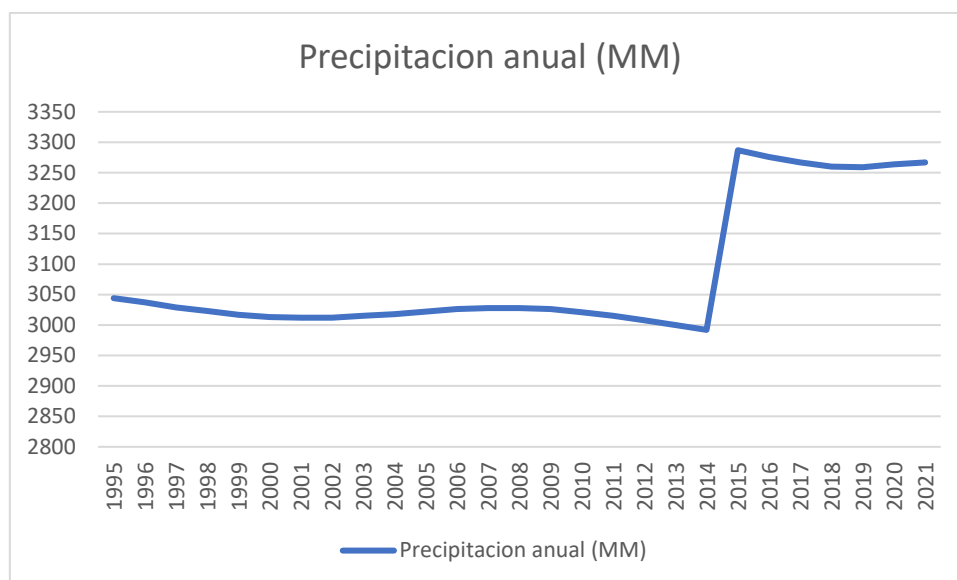
Para disminuir los efectos del aumento de los niveles de CO₂, es esencial reducir las “emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso a la atmósfera reduciendo el uso del automóvil, para bajar el uso de gasolina, ser más eficientes en la producción, cambiar equipos electrónicos contaminante, y utilizar fuentes de energía limpia” (Raynal-Villaseñor, 2011, p. 426), además del uso de prácticas de adaptabilidad según el IPCC (Castellanos, et al., 2022).

En América Latina y el Caribe el cambio climático ha comenzado a plantear desafíos importantes, ya que según datos de las naciones unidas se “encuentra en una situación asimétrica puesto que su contribución a las emisiones totales de gases de efecto invernadero es bastante limitado, pero es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático” (NU. CEPAL, COMISION EUROPEA, GIZ, DFID, & DANIDA, 2014, p. 8).

Ha causado en América latina y el caribe “lluvias más intensas en algunas áreas, lo que provoca inundaciones y deslizamientos de tierra, mientras que otras áreas están experimentando sequías más frecuentes y severas” (NU. CEPAL, COMISION EUROPEA, GIZ, DFID, & DANIDA, 2014, p. 21), además del aumento de la temperatura “alrededor de 1°C en el último siglo que provocara más olas de calor, sequías e incendios forestales” (NU. CEPAL, COMISION EUROPEA, GIZ, DFID, & DANIDA, 2014, p. 65).

En Ecuador por “poseer una de las mayores diversidades biológicas del mundo debido a su climatología y su ubicación geográfica, los altos niveles de pluviosidad y la presencia de la cordillera de los Andes” (CEPAL, 2012, p. 187), han hecho que presente una climatología muy definida que da “lugar a marcados cambios temporales y espaciales en las regiones del país. Se observan dos épocas diferenciadas, la precipitación y otra seca, exceptuando la región amazónica, donde las lluvias son abundantes todo el año” (CEPAL, 2012, p. 187) que por el cambio climático se han visto alteradas y se pueden visualizar en datos históricos dados por el World bank group. en el gráfico No. 2 y No. 3.

Gráfico No.2 precipitaciones Ecuador (1995-2021)

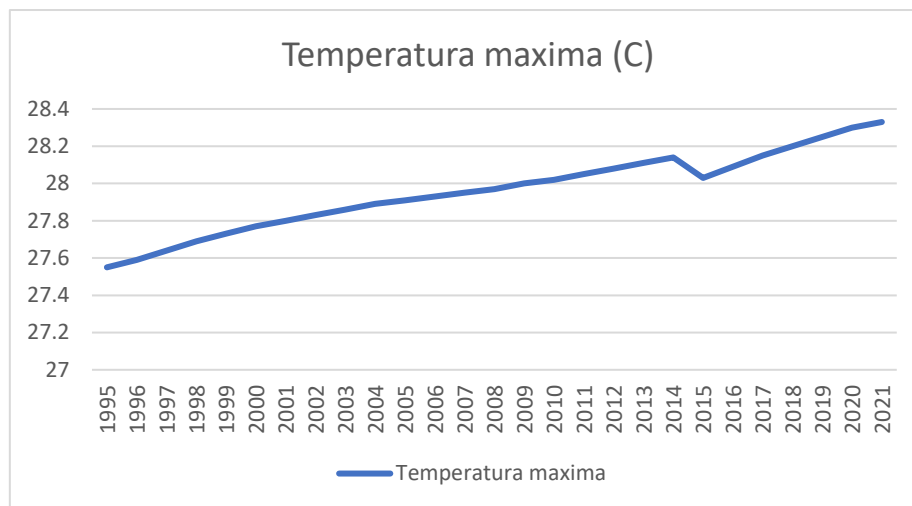


Elaboración propia con datos de (World Bank Group, 2020)

Como se puede visualizar las precipitaciones son constantes hasta el año 2014 donde se muestra que han tenido un aumento, las cuales según varias instituciones que estudian al cambio climático serían las causantes de provocar daños y pérdidas para el país ya que las “precipitaciones al caer en forma abundante o continua durante un período prolongado causan inundaciones, deslizamientos de tierra y lodo” (2014, pág. 19), que dañan a varios sectores especialmente el de la infraestructura vial que al tener estos deslizamientos causan que se estructura se modifique y agriete.

Por otro lado, los datos del Ecuador sobre temperatura máxima dados por el Ward bank group presentan que:

Gráfico No.3 temperatura máxima Ecuador (1995-2021)



Elaboración propia con datos de (World Bank Group, 2020)

La temperatura ha aumentado de manera continua a lo largo de los años llegando a un máximo en 2021 de 28.33 °C que ha causado pérdidas y daños debido a las temperaturas máximas que han afectado diversos aspectos de la vida humana y del medio ambiente, en el caso de la infraestructura vial este aumento de la temperatura daña al asfalto al hacer que este se expanda y se agriete generando baches por las temperaturas a las que está expuesta.

Daños y pérdidas por el cambio climático

El cambio climático se ha manifestado de muchas maneras, a menudo afectando en gran medida a los más pobres y vulnerables, trayendo consigo en la actualidad varía “evidencia de que el clima ha comenzado a tener un cambio en su frecuencia” (Mechler & et al., 2019), lo cual provocara daños y pérdidas en muchas regiones afectando a su bienestar.

Y que a través de investigación empírica se ha demostrado que se “incurre en pérdidas y daños cuando los costos de adaptación no se recuperan; o cuando los esfuerzos de adaptación son ineficaces. Incluso si la mitigación actual y la adaptación tienen éxito, se producirán pérdidas y daños residuales” (2013, p. 948).

Ejemplos de las pérdidas y los daños causados por el cambio climático presentadas por el IPCC muestran que afectaciones como “inundaciones y los derrumbes representan un riesgo para la infraestructura; un aumento de 1,5°C daría como resultado un aumento del 100-200% en la población afectada por las inundaciones en Colombia, Brasil y Argentina, 300% en Ecuador y 400% en Perú” (Castellanos, et al., 2022, p. 1693).

Por lo que en territorios de América Latina y del Caribe se han comenzado a “crear mecanismos para ayudar a los países en desarrollo a hacer frente a las pérdidas y los daños causados por cambio climático” (2014, p. 938), ya que existe un potencial de revitalizar los “esfuerzos de mitigación, adaptación existentes, pero esto requerirá en última instancia el liderazgo de los países y una mejor comprensión de varias cuestiones

clave” (2013, p. 947), ya que, las pérdidas y los daños causados por el cambio climático son complejos, multifacéticos y relativamente nuevos en la agenda del cambio climático, y caracterizarlos requiere una comprensión holística de las diversas formas en que el cambio climático afecta a las personas y al planeta.

Por lo cual es importante revisar las formas de contrarrestar al cambio climático para con ellas formar un enfoque integral para abordar el cambio climático, al trabajar para reducir las emisiones, prepararse para los impactos ante los cambios que ya están en marcha y poderlo enfocar a nuestro caso de estudio que es la infraestructura vial.

Mitigación

La mitigación se refiere a “reducir las emisiones de GEI y mejorar los sumideros y reservorios, para que las alteraciones del cambio climático no sucedan y así los procesos, prácticas y estructuras para moderar impactos negativos potenciales sean menores” (2019, p. 41).

Por otro lado, en el marco de las Naciones Unidas es esencial la puesta en prueba de medidas de mitigación, ya que por el predominante “calentamiento reciente causado por emisiones de dióxido de carbono, metano y forzamientos climáticos de corta duración (SLCF), y modificaciones a las concentraciones de GEI asociadas con el cambio de uso de suelo (LUC)” (2019, p. 115), han hecho que este proceso de reducir las emisiones GEI tenga un alto grado de importancia y ha ayudado en fomentar el pensamiento de mitigación en varios países.

Además, la mitigación es esencial para reducir la severidad del cambio climático y sus impactos asociados. También es fundamental para lograr los objetivos del Acuerdo de París, cuyo objetivo es “limitar el calentamiento global muy por debajo de los 2 °C por encima de los niveles preindustriales” (Huq, Roberts, & Fenton, 2013)

Los esfuerzos de mitigación requieren la cooperación y coordinación de gobiernos, empresas e individuos de todo el mundo. Si bien la escala del desafío es significativa, existen muchas oportunidades para la innovación y la colaboración para reducir las emisiones y hacer la transición a un futuro más sostenible y bajo en carbono.

Compensación

La compensación es un instrumento que “busca resarcir por pérdidas ambientales irremediables producidas por los impactos de proyectos de infraestructura o por actividades productivas” (Cowell, 2014)

Y que en cuestión no “busca la prevención o corrección del impacto negativo, sino que provee una medida que genere un valor equivalente al valor perdido o disminuido” (Ariza Pardo & Moreno Hincapié, 2017)

Adaptación

La adaptación se define para el IPCC como un “proceso de ajuste al clima real. En los sistemas humanos, la adaptación trata de evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos” (2014, p. 5).

Este proceso debe conllevar consigo la elaboración de estrategias por parte del tomador de decisiones de cada país, a través del manejo eficiente de la política y el cambio en la institucionalidad, lo cual ayudaría a incorporar “opciones de ingeniería y tecnología de adaptación que se emplean habitualmente y que a menudo están integradas en los programas en vigor como la gestión de riesgos de desastre y la gestión de los recursos hídricos” (2014, p. 5). Ayudando a que las estructuras puedan adaptarse de una mejor manera al cambio climático al resistir sus impactos por la toma de estrategias anticipadas a la hora de construcción.

Este proceso se encuentra presente en varios sectores económicos y se encarga de hacer frente a varias implicaciones, siendo principalmente producidas por el cambio climático que producen en sí según el IPCC “eventos físicos rápidos o lentos que pueden tener impactos adversos en la gente. En algunos casos, las personas se adaptan anticipándose al cambio climático en general o para aprovechar las nuevas oportunidades creadas por los peligros” (O'Neill, et al., 2022, p. 2433).

A lo que “los gobiernos de distintos niveles están comenzando a desarrollar planes y políticas de adaptación y a integrar las consideraciones del cambio climático en planes de desarrollo más amplios” (IPCC, 2014, p. 8).

Estos planes de adaptación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe están “basados en el ecosistema que comprende áreas protegidas, acuerdos de conservación y gestión, en el sector agrícola de algunas zonas que se están incorporando variedades de cultivos resilientes, predicciones climáticas y una adaptación destinada a proteger a largo plazo infraestructura pública” (IPCC, 2014, p. 8).

Lo que ayuda a “responder a los riesgos conexos al clima y tomar decisiones, con una incertidumbre constante acerca de la gravedad y el momento en que se sentirán los impactos del cambio climático y con límites en la eficacia de la adaptación” (IPCC, 2014, p. 14).

Por lo que el IPCC recomienda que se utilicen las medidas de adaptación frente al cambio climático a la infraestructura ya que a “se prevé que los impactos del cambio climático en la infraestructura influyan en las políticas de seguridad nacional. Por ejemplo, la inundación de tierras que supone riesgos para la integridad territorial de estados cerca del mar” (2014, p. 20).

En Ecuador existen hoy en día varios proyectos enfocados en promover la adaptación como:

El proyecto Gestión de la Adaptación al Cambio Climático para disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental (GACC), el proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del Agua en Ecuador (PACC) y el Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático / Adaptación al Impacto del Retroceso

Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA). (CEPAL, 2012, p. 151)

Para la infraestructura vial CEPAL expresa que para mejorar la adaptación es necesario un “mejoramiento de materiales y obras complementarias en las zonas de mayor riesgo mediante reformas de los reglamentos de compras públicas y licitaciones de obras de infraestructura vial” (CEPAL, 2012, p. 154) .

Además, para cumplir este tipo de planes se necesita “mecanismos de incentivos económico-financieros para inversiones en adaptación deberían plantearse desde la programación macroeconómica y fiscal del gobierno central y el sector público no financiero” (CEPAL, 2012, p. 155).

Estos planes de adaptación realizados por el Ecuador han traído consigo un aumento en la contribución para la disminución de la vulnerabilidad que muchos de estos sectores presentan, pero una de la menos desarrollada es la de realizar planes de adaptación frente al cambio climático en el sector infraestructura vial ya que según el MAE “Ecuador cuenta con una política de cambio climático que se traduce en planes, estrategias y otros documentos. Sin embargo, el reto más grande sigue siendo plasmarlos en proyectos y acciones concretas” (MAE, Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2019, pág. 3)

Infraestructura vial

Las infraestructuras hoy en día son fundamentales para el bienestar de las personas y una de las más importantes es la infraestructura vial que según Pablo Urbano, “las vías constituyen un aspecto de importancia fundamental en el desarrollo económico de un país” (Urbano, 2005, pág. 55).

Lo cual ha hecho que varios estudios enfoquen el problema del cambio climático a este sector por la importancia que tiene ya que impactos como “temperaturas extremadamente altas, intensas precipitaciones que provocan inundaciones, vientos y/o tormentas más intensas, y el aumento del nivel del mar puede afectar seriamente la infraestructura de transporte, las operaciones, y movilidad” (Castellanos, et al., 2022, p. 1057).

A lo que expertos como (Crespo García & Jiménez Arroyo, 2021) aseguran que los impactos del cambio climático pueden “ser paliados, mejorando la adaptación y resiliencia de los territorios. En este contexto se buscan herramientas de evaluación.” (2021, p. 118).

Estas herramientas de evaluación ayudan a los tomadores de decisiones de cada país analicen cual es la mejor manera de enfrentarse al cambio climático, comenzando con un proceso de análisis de las vulnerabilidades del sector frente a estos cambios para poder “enumerar las condiciones climáticas de referencia y los peligros episódicos influidos por el clima que comprenden el entorno en el que se construye, mantiene y utiliza la infraestructura vial” (Chinowsky P. , Schweikert , Strzepek, & Strzepek, 2015, p. 5453).

Este estudio de afectación en la infraestructura vial es importante ya que ayuda a examinar los patrones de cambio del clima ya que según Chinowsky “los patrones climáticos serán alterados por el cambio climático, afectando la frecuencia, duración y severidad de los peligros, afectando el funcionamiento de la infraestructura vial y la demanda de transporte” (2015, pág. 5454).

Lo que ayuda a que los tomadores de decisiones de cada proyecto vial tomen en cuenta tanto las condiciones climáticas, como las de temperatura, pluviosidad y altitud que interfieren en el diseño de la infraestructura vial (Webster, 2023).

Conclusión

En conclusión, el cambio climático es un tema complejo y urgente que requiere una acción inmediata y ha traído el interés de tomadores de decisiones para realizar estudios acerca de cómo este puede afectar a sectores económicos como el de la infraestructura vial del Ecuador.

El gobierno ecuatoriano a lo largo de los últimos años ha presentado crecimiento en la inversión en infraestructura vial y se ha enfocado en realizar dichos proyectos viales especialmente en vías troncales, con el objetivo de mejorar el transporte de producto y personas que se encuentran en ubicaciones que su acceso se dificulta por la falta de infraestructura vial (CONGOPE, 2021).

Por lo cual los Gobiernos a lo largo de la historia han priorizado construir una extensa red de carreteras, que han provocado un incremento en el flujo vehicular que ha sido aprovechada por varias poblaciones que utilizan esta red vial para transportar productos y servicios de un lugar a otro de la manera más rápida posible, pero por la falta de un plan de acción frente al cambio climático esta red vial se ha visto perjudicada.

Ejemplo de ello es el área rural que en su mayoría se dedica a la agricultura, agroganadería y a la ganadería y utiliza a la infraestructura vial para transportar dichos productos al área urbana que por el cambio climático ha afectado a su estructura vial (CONGOPE, Plan de desarrollo vial integral de la provincia de pichincha 2019, 2019).

Presentándonos al cambio climático como una amenaza potencial para el desarrollo de Ecuador ya que su infraestructura vial es vulnerable a los impactos del cambio climático.

En este contexto es importante analizar la influencia que tienen el cambio climático para la construcción de infraestructura vial ya que esta serviría para mejorar y agilizar a todas las personas de la nación en sus ámbitos productivos y ayuda a aquellas empresas que se encuentran constantemente enviando sus productos de un lugar del país a otro.

Este cambio se lo debe hacer a partir de la creación y el planteamiento en proyectos como es el caso de la infraestructura vial para probar la efectividad de la adaptación frente al cambio climático y “poder cumplir uno de los principales compromisos establecidos en la NDC, tanto en cuanto a acciones de mitigación y adaptación como en cuanto a procesos que consideren ambos componentes” (MAE, Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2019, p. 3).

Por lo que en el siguiente capítulo se comenzara a realizar un análisis de las principales vulnerabilidades en el corredor vial Buena Fe- Babahoyo- Jujan que nos ayudaran a caracterizar la zona de estudio e identificar las posibles afectaciones que produce el cambio climático en ese sector.

Capítulo 3: Vulnerabilidad e impactos económicos

Introducción

La vulnerabilidad climática se refiere al grado en que una sociedad o ecosistema es susceptible de sufrir daños por los impactos del cambio climático, analizando el modo en que están cambiando los “patrones de riesgos y los beneficios potenciales debido al cambio climático, y ayuda a estudiar cómo se pueden reducir y gestionar los impactos y los riesgos” (IPCC, 2014, p. 3).

En este sentido este capítulo abarcara el estudio de vulnerabilidad tomando en cuenta el planteamiento del IPCC para identificar los riesgos que tiene el sector de estudio para luego pasarlo a una segunda etapa en la que se analizara cuál de ellos afectaría a la infraestructura vial en el caso del corredor vial Buena Fe- Babahoyo- Jujan e identificar en qué medida estos riesgos afectan.

Este proceso nos ayudara a ver que afecta al sector de estudio y nos abrirá la puerta al último capítulo de esta investigación ya que será el que delimite a que afectaciones se va a tener que plantear en los escenarios y ver si la adaptación los soluciona.

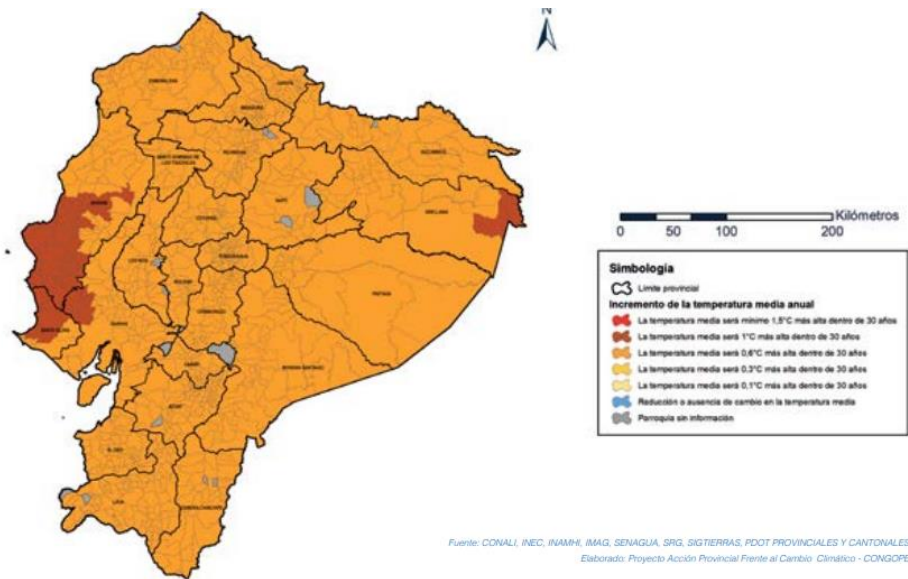
Riesgo climático

El Ecuador es diverso debido a “su ubicación en el neotrópico, la presencia de la cordillera de los Andes y la influencia de las corrientes oceánicas en sus costas” (INABIO, 2020).

Presentando condiciones climáticas que registran “una gran variedad de climas y microclimas. Se trata de uno de los 17 países megadiversos del planeta e, incluso, juntando su biodiversidad terrestre y marina, tiene el mayor número de especies por extensión geográfica” (SENPLADES, 2012, p. 36), que se han visto afectadas por el cambio climático, causado por el aumento de los gases de efecto invernadero.

Que, aunque Ecuador no genere muchos gases de efecto invernadero ya que según datos de MAE Ecuador es responsable de “apenas el 0.15% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero siendo la principal fuente de emisiones del país es el sector de energía, específicamente el subsector de transporte y, dentro de este, el transporte pesado” (MAE, 2017, p. 58). Lo cual provocara en sí que el “cambio climático produzca un aumento de la temperatura o de la precipitación; o en las alteraciones en la frecuencia, duración e intensidad de los eventos climáticos extremos” (CONGOPE, 2018, p. 8), que se pueden apreciar en los siguientes gráficos hechos por el CONGOPE.

Gráfico No.1 primer escenario Amenaza climática ante el aumento de la temperatura media. Escenario de emisiones medias.

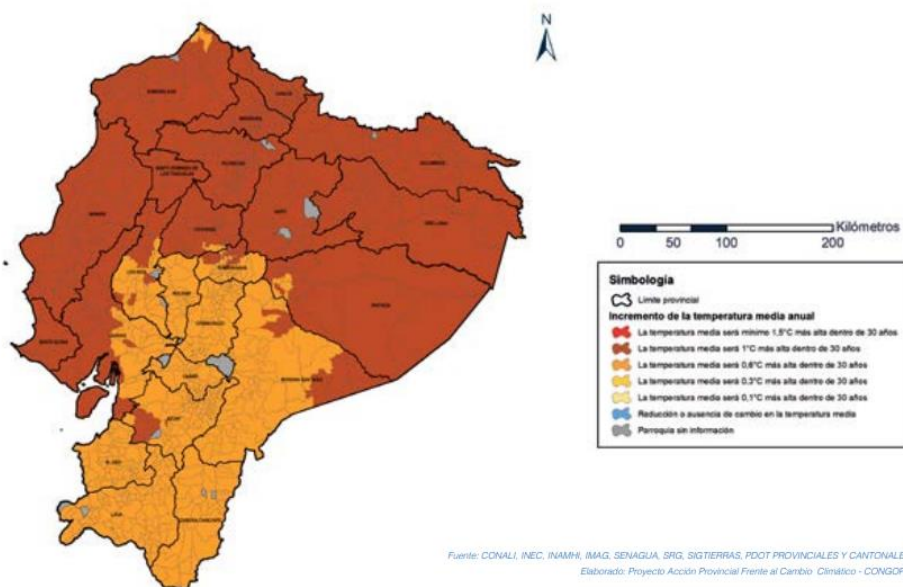


Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES
Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático - CONGOPE

Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático – CONGOPE

El gráfico No.1 presentado por el CONGOPE nos muestra el primer escenario de temperaturas para el Ecuador en el que se presenta en que zonas existiría una presencia de aumento de la temperatura si esta tuviese un comportamiento bajo el RCP 4.5 en el periodo 2011-2040.

Gráfico No.2 Amenaza climática ante el aumento de la temperatura media. Escenario de emisiones alta.

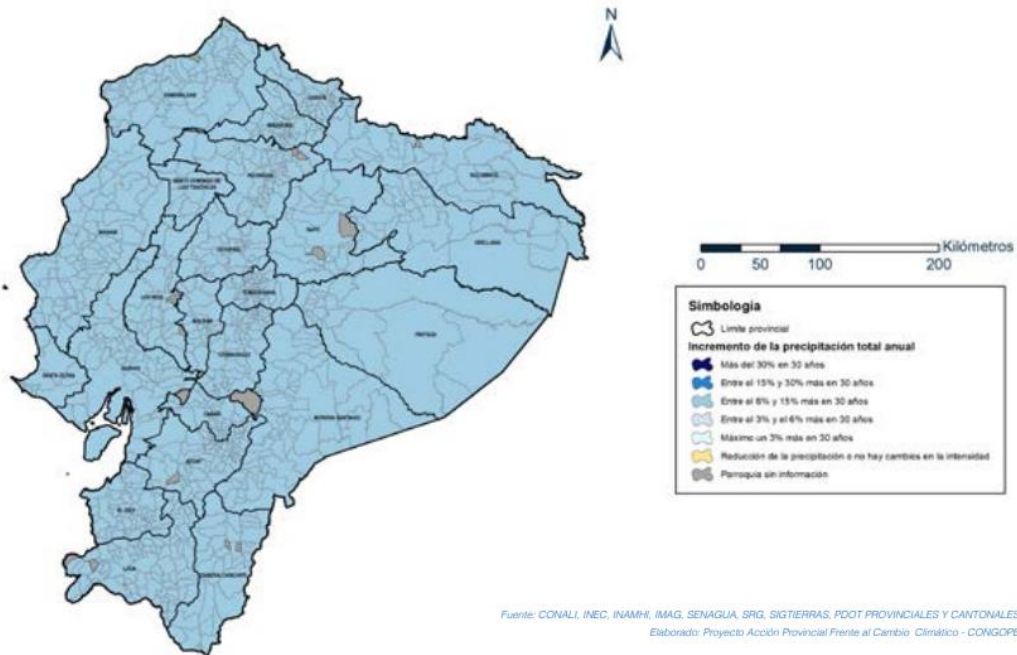


Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES
Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático - CONGOPE

Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático – CONGOPE

El gráfico No.2 presentado por el CONGOPE nos muestra el segundo escenario de temperaturas para el Ecuador en el que se presenta en que zonas existiría una presencia de aumento de la temperatura si esta tuviese un comportamiento bajo el RCP 8.5 en el periodo 2011-2040.

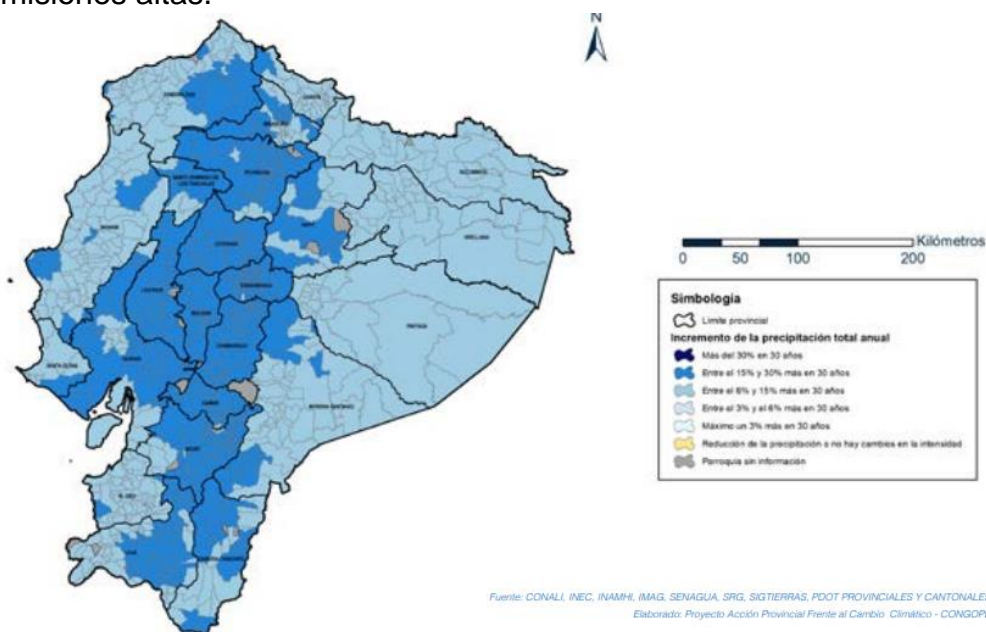
Gráfico No.3 Amenaza climática ante el aumento de la precipitación total. Escenario de emisiones medias.



Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático – CONGOPE

El gráfico No.3 presentado por el CONGOPE nos muestra el primer escenario de precipitaciones totales para el Ecuador en el que se presenta en que zonas existiría un aumento de precipitaciones si esta tuviese un comportamiento bajo el RCP 4.5 en el periodo 2011-2040.

Gráfico No.4 Amenaza climática ante el aumento de la precipitación total.
Escenario de emisiones altas.



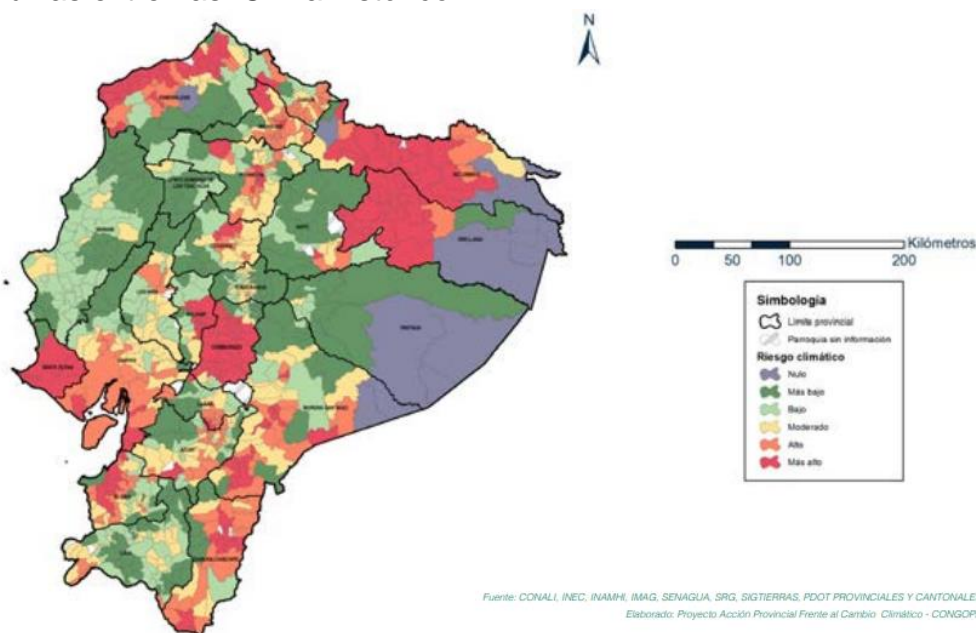
Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático – CONGOPE

El gráfico No.4 presentado por el CONGOPE nos muestra el segundo escenario de precipitaciones totales para el Ecuador en el que se presenta en que zonas existiría un aumento de precipitaciones si esta tuviese un comportamiento bajo el RCP 8.5 en el periodo 2011-2040.

Las predicciones climáticas para Ecuador indican que se esperan cambios en la temperatura rondando por los 0,1 a 1,5 °C (CONGOPE, 2019) y la cantidad de lluvia que podrían ser desde 3% hasta 30% aumentando la cantidad de precipitación total anual (CONGOPE, 2019) que son mayores al promedio global previsto rondando según CONGOPE, lo cual aumentará significativamente la vulnerabilidad de la economía del país, afectando al sector de la infraestructura vial y con ello afectando el bienestar de las personas que usan este servicio ya que este exceso de lluvias tiene una influencia directa en la infraestructura vial (Webster, 2023).

En el caso de la infraestructura vial afectada por el aumento de días con lluvias extremas CONGOPE nos presenta el mapa No.5 el cual muestra que en el país este sería uno de los riesgos que más afectan a la infraestructura vial ya que produce inundaciones y desgaste en las vías haciendo que su durabilidad sea inferior (Webster, 2023).

Gráfico No.5 Riesgo climático de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas. Clima histórico.

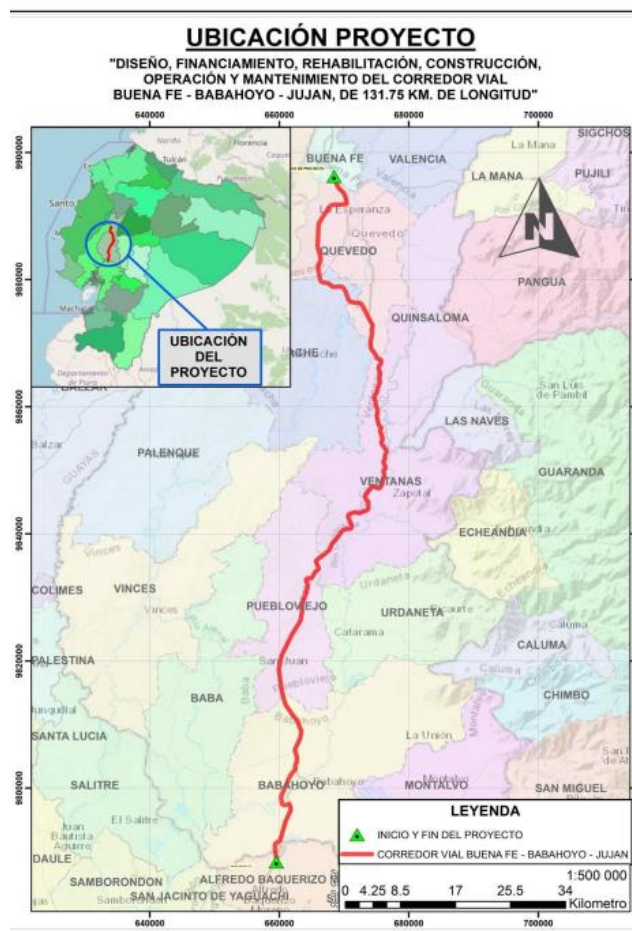


Fuente: CONALI, INEC, INAMHI, IMAG, SENAGUA, SRG, SIGTIERRAS, PDOT PROVINCIALES Y CANTONALES Elaborado: Proyecto Acción Provincial Frente al Cambio Climático – CONGOPE

Como se puede apreciar en el gráfico No.5 sobre el riesgo climático de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas han hecho que muchos sectores se vean perjudicados en gran cantidad como son los que se encuentran marcados con rojo, como en el caso de “las cuencas de los ríos Guayas y Chone y la provincia de Los Ríos y en el norte de la provincia de Manabí” (CONGOPE, 2018, p. 8).

A lo que vías como el caso del corredor vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan que se encuentra “en la E-25 y está ubicado en el centro occidente del país Ecuador, entre las provincias de Los Ríos y Guayas, cuyo trazado trascurre conectando centros productivos y de intercambio comercial” (MTOP, 2020, p. 9), y se encontrarían en una de las zonas con mayor afectación al cambio climático según los mapas que nos presenta CONGOPE.

Gráfico No.6 proyecto vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan



Elaborado: (MTO, Diseño, Financiamiento, Rehabilitación, Ampliación a 4 carriles, Construcción, Operación y Mantenimiento del corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan, 2020)

El gráfico No.6 muestra la ubicación que tendría el proyecto vial del corredor Buena Fe – Babahoyo – Jujan que presenta según datos del MTO “una longitud total de 128 Km aproximadamente atraviesa una topografía llana y forma parte del eje longitudinal E-25, y de conformidad con las condiciones existentes “ (MTO, 2018-2021, p. 13).

Riesgos y vulnerabilidad infraestructura vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan

Según el CONGOPE “la mayoría de infraestructura existente en el Ecuador presenta serias deficiencias de comportamiento al ser requeridas por acciones no permanentes como aquellas generadas por una amenaza natural, tanto en el análisis y diseño, así como en la construcción y mantenimiento” (CONGOPE, 2017, p. 15).

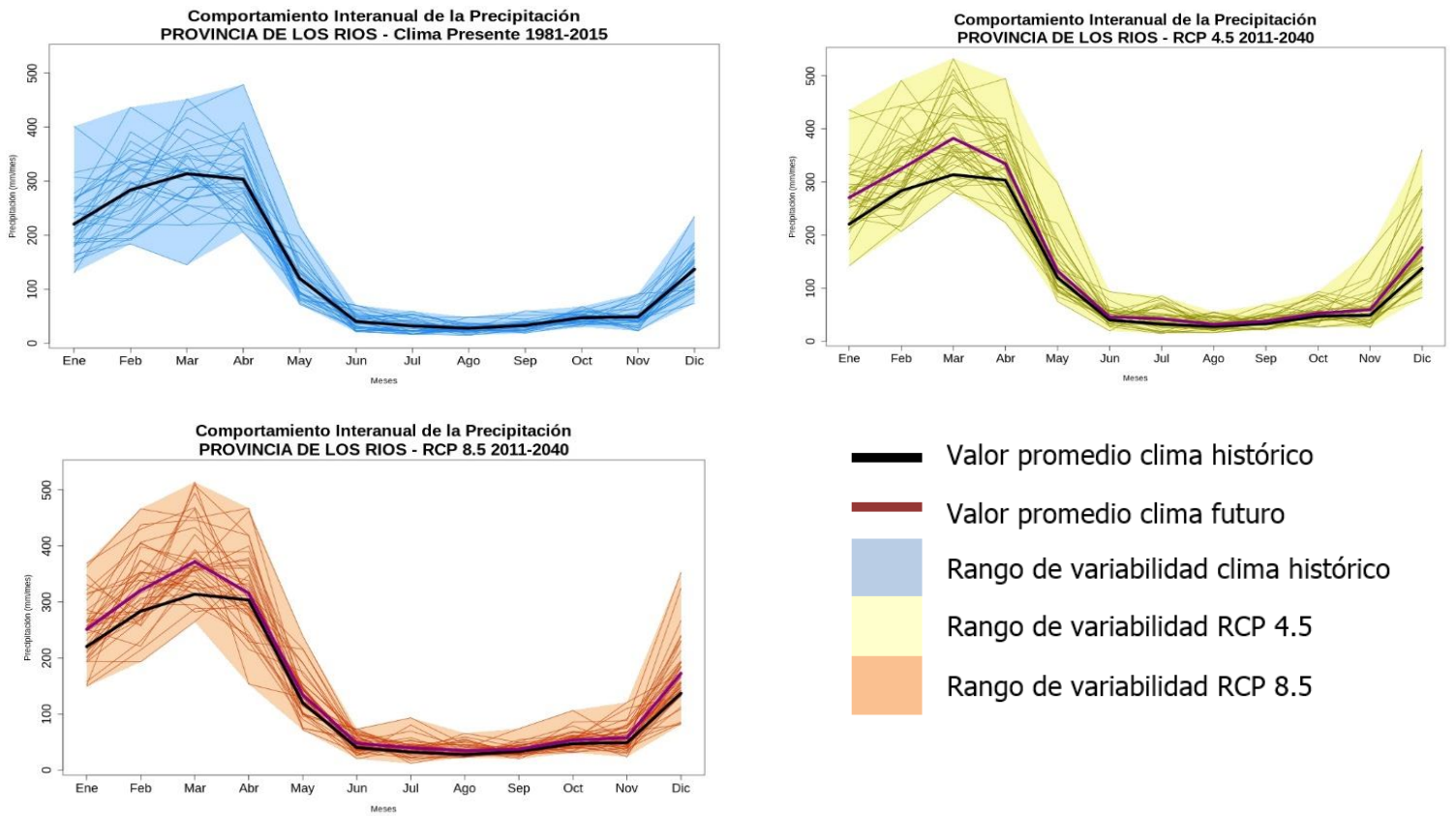
Lo cual provocaría que gran parte de la infraestructura vial que dispone el Ecuador presente altos niveles de vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos por “una ausencia de políticas para la gestión del riesgo en las instituciones nacionales” (CONGOPE, 2017, p. 15).

En primer lugar, la provincia de Los Ríos donde pasa la infraestructura vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan se encuentra vulnerable principalmente por dos acontecimientos

climáticos que serían la “temperatura y las precipitaciones” (Prefectura de los Ríos, 2019).

Estudios hechos por la prefectura de los Ríos en el año 2019 presentan datos históricos hechos por MAGAP en los que se muestra un promedio anual de meses con lluvias y temperaturas de la zona Norte de la provincia y donde se encuentra el proyecto vial presentando que en promedio los meses en los que más llueve son febrero, marzo y abril con un máximo de 492mm en febrero en los años 2000-2011, por otro lado, la temperatura promedio que ronda en es de 25°C, y fluctúa entre 24°C a 27°C, a lo que CONGOPE concuerda con los datos de la prefectura y presenta los siguientes gráficos No.7 y No.8 de la fluctuación que tendría las precipitaciones y las temperaturas medias en Los Ríos

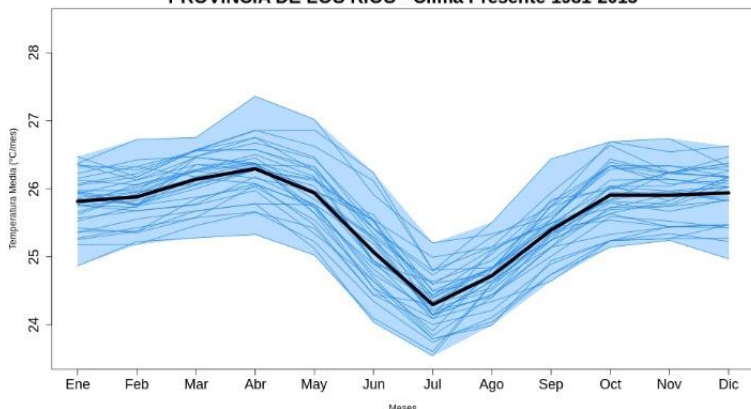
Gráfico No.7 comportamiento de las precipitaciones en Los Ríos



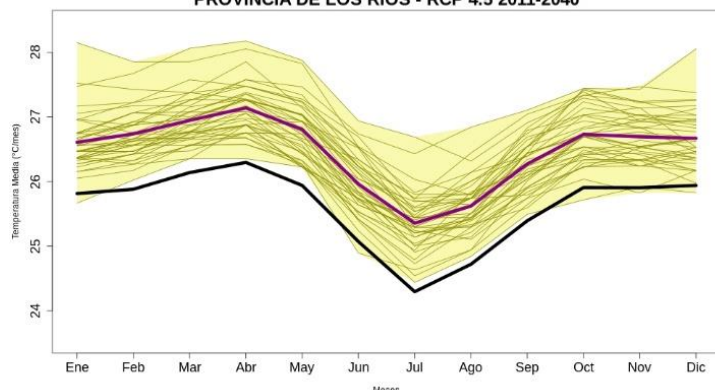
Elaborado por: (CONGOPE, Estrategia de cambio climático de la provincia de Los Ríos con enfoque de género. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

Gráfico No.8 comportamiento de la temperatura media en Los Ríos

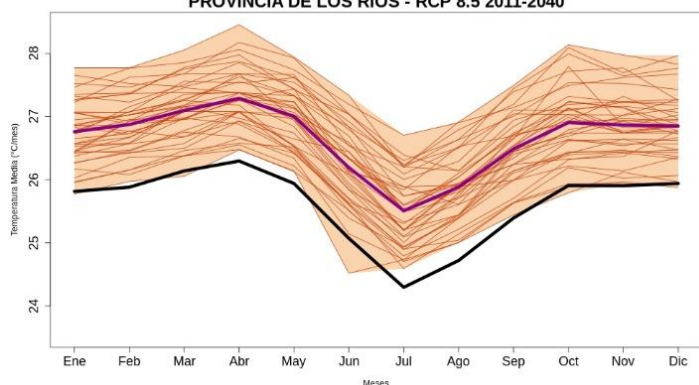
**Comportamiento Interanual de la Temperatura Media
PROVINCIA DE LOS RÍOS - Clima Presente 1981-2015**



**Comportamiento Interanual de la Temperatura Media
PROVINCIA DE LOS RÍOS - RCP 4.5 2011-2040**



**Comportamiento Interanual de la Temperatura Media
PROVINCIA DE LOS RÍOS - RCP 8.5 2011-2040**



- Valor promedio clima histórico
- Valor promedio clima futuro
- Rango de variabilidad clima histórico
- Rango de variabilidad RCP 4.5
- Rango de variabilidad RCP 8.5

Elaborado por: (CONGOPE, Estrategia de cambio climático de la provincia de Los Ríos con enfoque de género. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

Como se puede apreciar en el gráfico No.7 las precipitaciones que, han cambiado sus patrones aumentando en meses como enero, febrero, marzo y abril, y disminuye entre junio y septiembre.

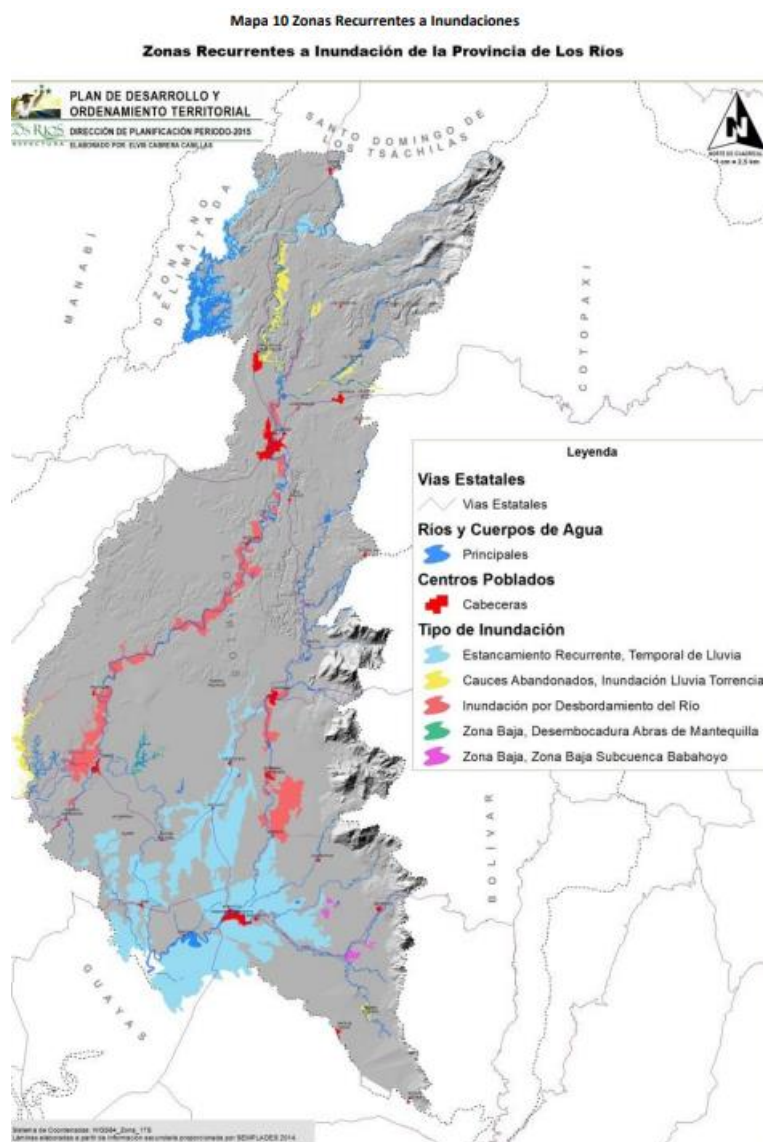
Mostrándonos CONGOPE que “existe un incremento de la precipitación. También se aprecia que habría una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos de variabilidad climática” (CONGOPE, 2019, p. 10).

Por otro la temperatura media presentada en el gráfico No.8 presenta valores entre 24 y 26°C que se manejarían de igual manera que los datos presentados por la prefectura de los Ríos y que “se observan años donde han ocurrido temperaturas más altas o bajas en comparación con la climatología, debido principalmente a la influencia de fenómenos El Niño – La Niña” (CONGOPE, 2019, p. 11).

Traduciéndose en amenazas para el sector ya que como lo expresa la prefectura de los Ríos “se han identificado y delimitado las áreas expuestas de manera recurrente a la amenaza de origen y socio naturales que más aqueja al territorio provincial como son las inundaciones” (Prefectura de los Ríos, 2019).

El mapa No.9 muestra las principales zonas de inundación en Los Ríos que comparándolo con el espacio donde se encuentra el proyecto vial de estudio de esta investigación sería una de las principales vulnerabilidades que tendría este corredor por parte de esta provincia.

Mapa No.9 Zonas recurrentes a inundaciones provincia de Los Ríos



Elaborado: (Prefectura de los Ríos, 2019).

Por lo que el gráfico No.9 nos ayuda ver que en la zona de Babahoyo existe un alto grado de estancamiento recurrente de lluvia “que obedece estrictamente a características físicas del relieve y a los procesos erosivos y arrastre de sedimentos que ocurre por la escorrentía” (Prefectura de los Ríos, 2019).

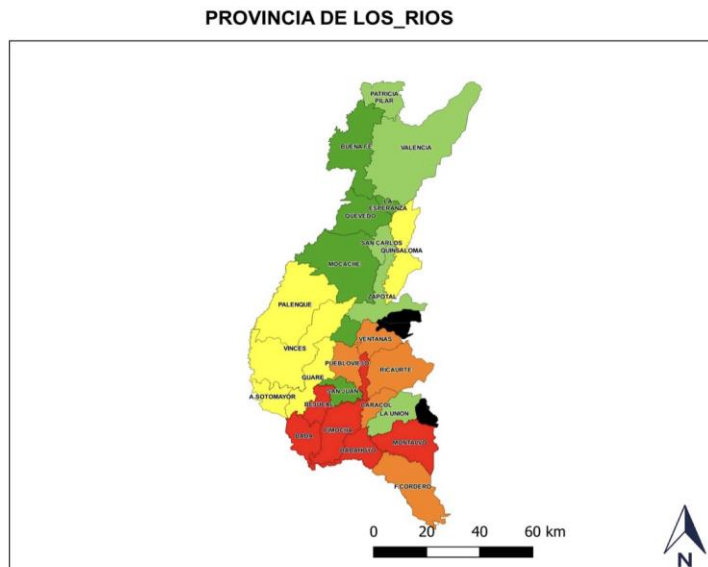
A lo que instituciones como el INAMHI han comenzado a emitir boletines indican el “incremento de intensidad de lluvias y un nivel de amenaza meteorológica es MEDIO y ALTO” (SNGR, 2021), y que presenta que en la fecha 2021 en Los Ríos se han visto un

total de 38 catástrofes que han provocado, (7) colapsos estructurales, (5) deslizamientos de tierra, (23) inundaciones, (2) socavamientos, causando un daño de 29.002 metros lineales de vías afectadas, que ha sido provocada por el aumento de días con lluvias extremas y el aumento de la intensidad de lluvia que a afectado a dichos sectores y se puede apreciar en el gráfico No.10 y gráfico No.11

Gráfico No.10 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas Los Ríos

Elaborado por: (CONGOPE, Estrategia de cambio climático de la provincia de Los Ríos con enfoque de género. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

Mapa de vulnerabilidad de infraestructura vial ante el incremento de días con lluvias extremas



Descripción:
Representación de los niveles de vulnerabilidad en infraestructura vial ante el incremento de días con lluvias superiores al percentil 95 (Rx95p) a nivel provincial

SIMBOLOGÍA Y LEYENDA

Incremento de días con lluvias extremas Vulnerabilidad

- Más alto
- Alto
- Moderado
- Bajo
- Más bajo
- Nulo

casos especiales

- PARROQUIA CREADA POSTERIOR AL CENSO 2010
- ZONA EN ESTUDIO

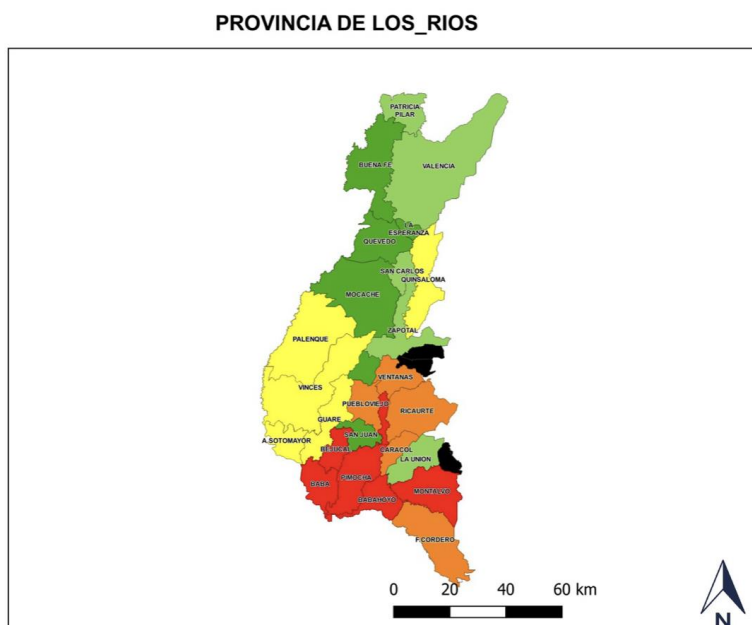
PROYECCIÓN: WGS 84 UTM 17S
FUENTES DE INFORMACIÓN:
SIGTIERRAS, MAG, INAMHI, PDOT
provinciales y cantonales
SENAGUA, CONALI, INEC, SGR

Los datos censales (socio-económicos) del año 2010 fueron levantados con base en una delimitación político-administrativo que no corresponde a la cartografía de CONALI sobre límites (2016). Por lo tanto algunos datos pueden referirse a un territorio cuya extensión se ha visto modificada

Gráfico No.11 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de la intensidad de lluvia Los Ríos

Elaborado por: (CONGOPE, Estrategia de cambio climático de la provincia de Los Ríos con enfoque de género.

Mapa de vulnerabilidad de infraestructura vial ante el incremento de la intensidad de la lluvia



Descripción:
Representación de los niveles de vulnerabilidad en infraestructura vial ante el incremento de la intensidad diaria de lluvia (SDII) a nivel provincial

SIMBOLOGÍA Y LEYENDA

Incremento de la intensidad de la lluvia Vulnerabilidad

- Más alto
- Alto
- Moderado
- Bajo
- Más bajo
- Nulo

casos especiales

- PARROQUIA CREADA POSTERIOR AL CENSO 2010
- ZONA EN ESTUDIO

Los datos censales (socio-económicos) del año 2010 fueron levantados con base en una delimitación político-administrativa que no corresponde a la cartografía de CONALI sobre límites (2016). Por lo tanto algunos datos pueden referirse a un territorio cuya extensión se ha visto modificada

PROYECCIÓN: WGS 84 UTM 17S
FUENTES DE INFORMACIÓN:
SIGTIERRAS, MAG, INAMHI, PDOT
provinciales y cantonales
SENAGUA, CONALI, INEC, SGR

Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

A lo que la vulnerabilidad local estaría influenciada por la magnitud y el comportamiento de eventos adversos importantes. La provincia se encuentra completamente dentro de la cuenca del Guayas, lo que la hace vulnerable a diversas amenazas naturales, principalmente de origen hidrometeorológico, que se intensifican durante la temporada de lluvias, y que tienen claras consecuencias para la población y la infraestructura como lo muestran los gráficos anteriores (CONGOPE, 2019).

La Agenda de Reducción de Riesgos de la Provincia de Los Ríos (2014) identifica cuatro eventos significativos: inundaciones, incendios estructurales, incendios forestales y colapsos estructurales, los cuales han tenido un gran impacto socioeconómico en los últimos años. Las inundaciones son percibidas como los eventos más recurrentes y perjudiciales para los asentamientos humanos, así como para la infraestructura productiva y vial (CONGOPE, 2019).

En el año 2012, por ejemplo, “978 personas tuvieron que ser albergadas temporalmente debido a las inundaciones, con un promedio de precipitación de 658 mm en 2008 y de 1.122 mm en 2012, años caracterizados por frecuentes inundaciones” (SNRG, PNUD, 2014, pág. 9).

Por otro lado, en la otra provincia donde pasa el corredor vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan, que es Guayas se ha presentado que esta provincia ha sido afectada por “incremento de eventos extremos, veranillos más frecuentes e irregularidad en la estación lluviosa más marcada” (CIIFEN, 2012, p. 92).

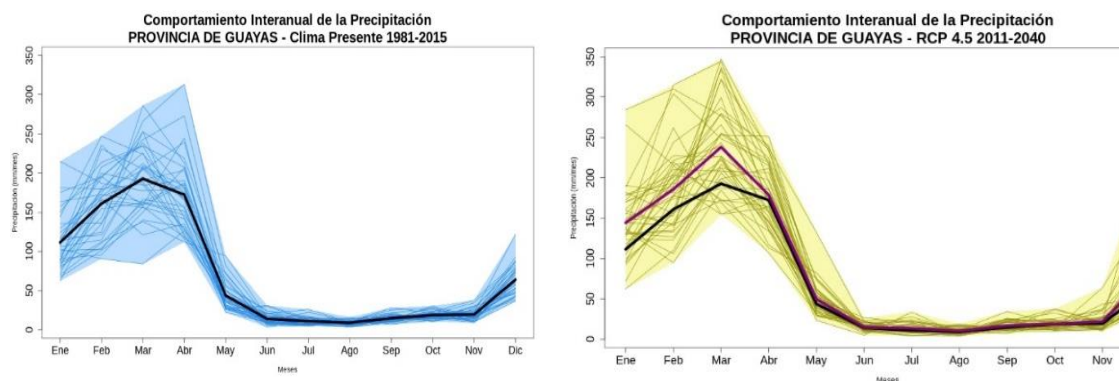
La cual ha llegado a presentar una “mayor vulnerabilidad ambiental provocada por factores antropogénicos en áreas de drenajes relacionados con las subcuencas de los ríos Babahoyo y Daule como una combinación de la susceptibilidad a la erosión, incompatibilidad de usos de suelo en las diferentes unidades ambientales” (CIIFEN, 2012, p. 87).

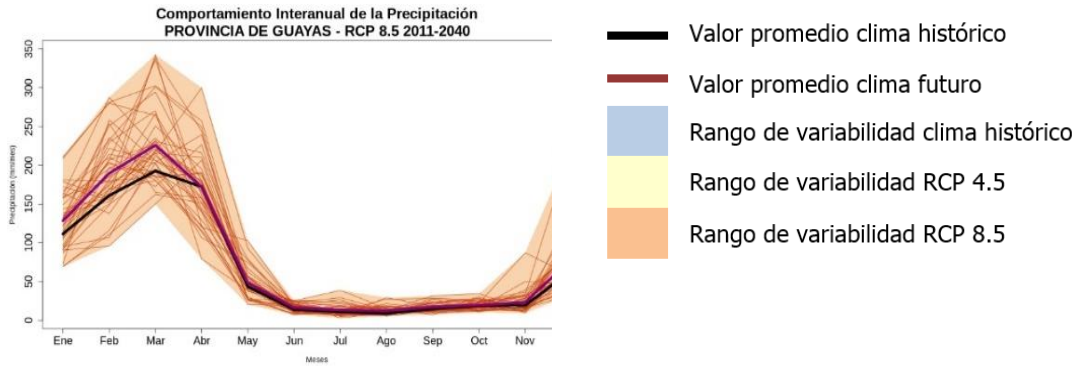
Guayas presenta que los sectores menos favorecidos de ciertas zonas experimentan diversas problemáticas, tales como infraestructuras de construcción deficientes, carencias en los servicios elementales y la falta de seguridad en la estabilidad de sus hogares (ya que no son de su propiedad). Esto hace que estos sectores sean especialmente vulnerables a los efectos que el cambio climático pueda causar, como pueden ser lluvias torrenciales, inundaciones o deslizamientos de tierra (CAF, 2017).

Además, estudios climáticos presentados por el CAF aseguran que se espera que la temperatura media aumente entre 2°C y 3°C desde el año 2020 hasta el 2099, y que durante los meses de diciembre a febrero y de marzo a mayo las precipitaciones aumenten entre un 3% y un 5%. Además, se prevé que se produzcan más eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones y episodios de lluvias intensas, y que la variabilidad climática también aumente (CAF, 2017), que afectan a la infraestructura vial.

A lo que datos del CONGOPE concuerdan con el CAF y expresan que “en la provincia de Guayas presenta una temporada de mayores precipitaciones entre enero y abril, y la de menores entre junio y noviembre, esto debido principalmente a la influencia de los fenómenos de variabilidad climática El Niño – La Niña” (CONGOPE, 2019, p. 6), y que se pueden observar en los siguientes gráficos de temperatura y de precipitaciones.

Gráfico No.12 comportamiento de las precipitaciones en Guayas

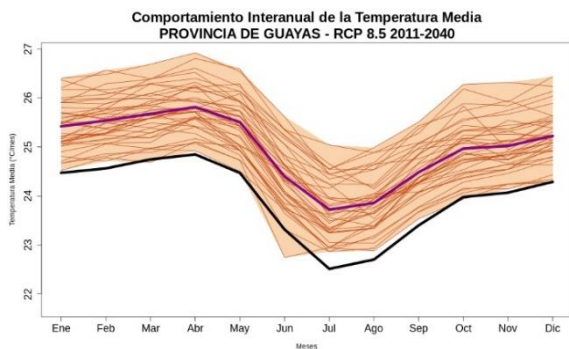
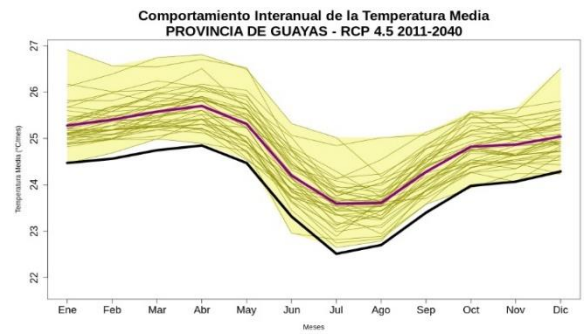
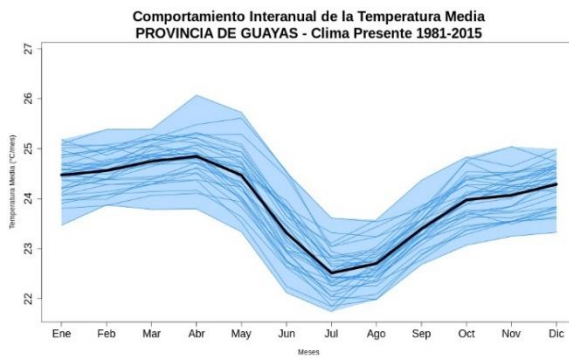




Elaborado por: (CONGOPE, Insumos para la actualización de la Estrategia Provincial de Cambio Climático de Guayas. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

Como se puede apreciar en los gráficos sobre el comportamiento de las precipitaciones en el Guayas existiría “una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos de variabilidad climática, que ocasionarían años con meses de lluvias muy intensas superiores en más del 100% a la climatología actual” (CONGOPE, 2019, p. 7).

Gráfico No.13 comportamiento de la temperatura media en el Guayas



- Valor promedio clima histórico
- Valor promedio clima futuro
- Rango de variabilidad clima histórico
- Rango de variabilidad RCP 4.5
- Rango de variabilidad RCP 8.5

Elaborado por: (CONGOPE, Insumos para la actualización de la Estrategia Provincial de Cambio Climático de Guayas. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

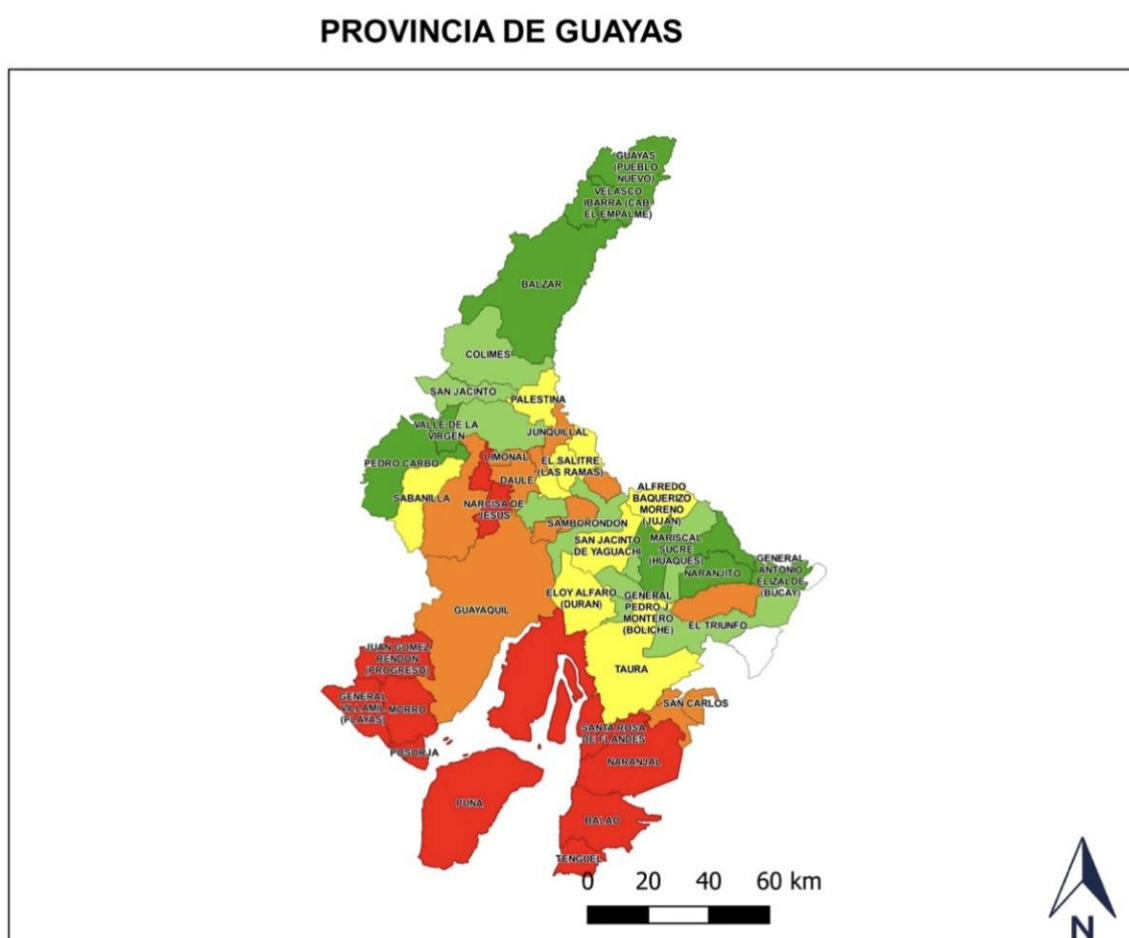
Por otra parte, la temperatura que presenta Guayas estaría entre el rango de “22 y 25°C, con los mayores valores en abril y los menores en julio y agosto, cada vez con temperaturas superiores al promedio, lo cual es una clara señal del cambio climático que se ha venido observando” (CONGOPE, 2019, p. 7).

También se observa que durante el período comprendido entre 2011 y 2040, la temperatura media podría variar significativamente, y es probable que la mayoría de los valores estén por encima del promedio actual. Esto sugiere que, en el futuro, cuando se produzcan fenómenos de variabilidad climática que provoquen disminuciones en la temperatura, los valores de la misma, probablemente se mantengan cercanos a los valores medios actuales (CONGOPE, 2019).

Y generando altos grados de vulnerabilidad de la estructura vial que se concentrarían en los siguientes sectores:

Gráfico No.14 de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el aumento de días con lluvias extremas Guayas

Mapa de vulnerabilidad de infraestructura vial ante el incremento de días con lluvias extremas



Elaborado por: (CONGOPE, Insumos para la actualización de la Estrategia Provincial de Cambio Climático de Guayas. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019)

Algunas de estas medidas incluyen la implementación de técnicas de diseño y construcción más resistentes y sostenibles, el fortalecimiento de los sistemas de monitoreo y mantenimiento de las carreteras, y la promoción de alternativas de transporte más eficientes y amigables con el medio ambiente.

En resumen, la adaptación y la planificación son fundamentales para asegurar la viabilidad de la infraestructura vial a largo plazo, y para garantizar que esta pueda seguir cumpliendo con su papel clave en la movilidad y el desarrollo económico de las comunidades locales y regionales.

A lo que para el caso de la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan es indispensable incluir en su plan de construcción a través del análisis costo- beneficio al cambio climático y realizar el análisis a través de la aplicación de dos escenarios, uno que tenga una estructura anticipada que frene los efectos de las lluvias intensas ya que como se observó en el análisis de las provincias y sus riesgos climáticos ambas, se vieron vulnerables.

Por último, se alienta a que se vea que la adaptación si es posible en la infraestructura vial ya que los datos del CONGOPE sobre Análisis de la capacidad adaptativa por provincia para el elemento expuesto Infraestructura vial muestra que en ambas provincias se puede adaptar si el plan que realice el tomador de decisiones ataca a la principal razón del desgaste de las vías que es las lluvias extremas que producen inundación y deslizamientos de tierra.

Capítulo 4: Análisis costo-beneficio

Introducción

El cambio climático en Ecuador ha traído serias repercusiones en la infraestructura vial que han hecho que esta no se adapte de la mejor manera a eventos climáticos extremos, a lo que Ing. Civiles como Heins Webster y Jack Villacis han planteado en la entrevista hecha que para que las vías de un país se puedan adaptar de la mejor manera se debe considerar al cambio climático en la etapa de diseño de la carretera especialmente al incremento de la pluviosidad (Webster, 2023).

Por lo que este capítulo abarcará este análisis de manera cuantitativa y cualitativa, para que el análisis costo-beneficio tenga un mayor impacto, de las distintas alternativas a realizar. Esto implica examinar detalladamente las diferentes opciones y evaluar su viabilidad económica (ONU & Lara, 2017).

A lo que se hará una evaluación cuantitativa que implicará el uso de datos numéricos para medir los costos de cada alternativa. Por ejemplo, se utilizarán técnicas de análisis financiero para determinar el costo total de cada opción, incluyendo el costo de inversión inicial (AZQUETA, 2007).

Por otro lado, la evaluación cualitativa implica examinar los aspectos no cuantificables de cada alternativa, para medir los beneficios sociales que presenta, esto se realizará a través de la entrevista con los dos ingenieros civiles que son expertos en este tema de infraestructura vial y han visto beneficios de la construcción de vías adaptativas frente al cambio climático (AZQUETA, 2007).

Por último, con el fin de ilustrar la metodología utilizada en el análisis costo-beneficio y cómo se pueden obtener recomendaciones precisas incluso con información limitada se realizará este estudio para la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan, con el propósito de presentar una metodología sencilla, práctica y eficaz que permita a los tomadores de decisiones y otros actores involucrados tomar decisiones informadas y adaptadas a la realidad local.

Análisis costo-beneficio

El análisis costo-beneficio de la infraestructura vial adaptativa es una técnica que permite evaluar la rentabilidad de la implementación de carreteras y sistemas de transporte inteligentes y adaptativos. La infraestructura vial adaptativa se refiere a la capacidad de las carreteras y sistemas de transporte para ajustarse y adaptarse a las condiciones cambiantes del clima, lo que puede reducir los tiempos de viaje, mejorar la seguridad y reducir los costos de mantenimiento.

Lo cual implica la evaluación de los costos y beneficios de la implementación de estas tecnologías. En cuanto a los costos, se deben considerar los costos iniciales de inversión. Por otro lado, en cuanto a los beneficios, se deben considerar los ahorros de

tiempo y de costos de operación y mantenimiento a largo plazo, así como los beneficios en términos cualitativos.

Entonces el primer paso para realizar el análisis costo-beneficio de la infraestructura vial es definir el problema para la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan que como lo vimos en el capítulo anterior este sector es proclive a las inundaciones como lo presentan los gráficos hechos por el MTOP en el diseño y financiamiento de este proyecto.

Gráfico No.1 zonas propensas a inundarse la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan



Gráfico 7 Zona Inundable, Km. 58+000 - Km. 60+000



Gráfico 8 Zona Inundable, Km. 64+800 - Km. 66+300



Gráfico 9 Zona Inundable, Km. 72+000 - Km. 74+400



Gráfico 10 Zona Inundable, Km. 97+000 - Km. 101+000

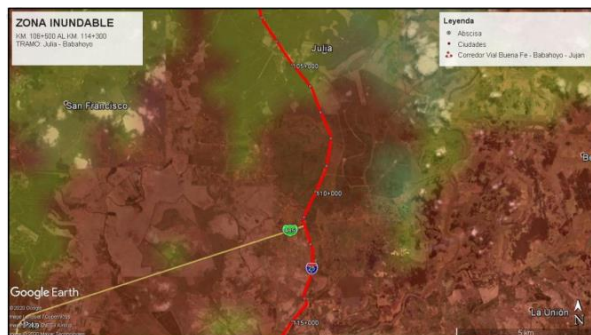


Gráfico 11 Zona Inundable, Km. 106+500 - Km. 114+300

Elaborado: (MTOP, Diseño, Financiamiento, Rehabilitación, Ampliación a 4 carriles, Construcción, Operación y Mantenimiento del corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan, 2020)

Como lo muestra los grafios anteriores estas zonas son propensas a inundarse por la alta pluviosidad de la zona y serian (km 58+000-km 60+000; km 64+800- km 66+300; km 72+000- km 74+400; km 97+000 – km 101+000; km 106+500- km 114+300), problemática que como lo presentamos en el capítulo anterior deteriora la red vial.

Este tipo de acontecimientos que suceden anualmente serán considerados como un gasto extra aparte del mantenimiento de la vía.

Para ello se realizara el análisis costo beneficio planteando dos escenarios uno en el cual no se haga nada frente a esta problemática el cual sería el planteado por el MTOP y otro el cual se tendrá una estructura anticipada a este problema el cual está dado por (ONU & Lara, 2017) el cual plantea un pavimento denso drenarle que ayudara a “disminuir las infiltración del agua” (p. 47).

Escenario 1

El primer escenario es el que no se hace nada es decir se hace el proyecto tal cual lo presenta el MTOP en su documento (MTOP, Diseño, Financiamiento, Rehabilitación, Ampliación a 4 carriles, Construcción, Operación y Mantenimiento del corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan, 2020), el cual presenta los siguientes valores.

- Longitud total de la vía: 130,98 KM

Datos de los cuales para este estudio solo se tomarán los de ampliación de la vía ya que la adaptación se hará en la construcción de la carretera, por lo cual la ampliación de la vía sería de 128 km que están divididos en los siguientes tramos:

- Tramo 1: Buena Fe - inicio anillo vial de Quevedo (L=43 Km) (A=9.30 m).
- Tramo 2: Anillo vial de Quevedo (L=26.30 Km) (A=32.30 m)
- Tramo 3: Fin anillo vial de Quevedo – Inicio paso lateral de Babahoyo (L=83.70 Km) (A=9.30 m)
- Tramo 4: Paso lateral Babahoyo (L=7.40 Km) (A=19.10 m)
- Tramo 5: Babahoyo – Jujan (L=6.30 Km) (A=18.60 m)

Transformamos los siguientes datos a m2 y obtenemos:

Longitud M	Ancho M	Total M2
43000	9.3	399900
26300	32.3	849490
83700	9.3	778410
7400	19.1	141340
6300	18.6	117180

Teniendo un total de 2286320 m2 de carretera que se debe pavimentar, a lo que para determinar su precio se tomara el análisis de precios dados por el MTOP en su documento (MTOP, Diseño, Financiamiento, Rehabilitación, Ampliación a 4 carriles, Construcción, Operación y Mantenimiento del corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan, 2020) y serían los siguiente para la ampliación de la carretera.

Ítems	Descripción	Costo

1	Ampliación red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan con estructura anticipada	\$155850868.91
---	---	----------------

Este costo de construcción de la carretera se dividirá en 3 años por lo que su precio sería de \$51950289.6 cada año.

Cabe destacar que según datos recopilados por la entrevista realizada una carretera de estas características puede llegar a tener una vida útil de 10 a 20 años según datos proporcionados por el Ing. Jack Villacis en su entrevista (Villacis, 2023) , aunque este dato puede variar por el mantenimiento que se tenga.

Por lo que analizando el mantenimiento de esta obra a precios dados CYPE que es un software para Arquitectura, ingeniería y construcción nos daría que el costo de mantenimiento decenal sería de 1,77 por m², dándonos un total de \$8093572.8 para los 20 años en los que se planea que esta construcción tenga su vida útil.

Escenario 2

El segundo escenario es aquel en el que su estructura es anticipada frente al cambio climático y que en el caso de la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan es vulnerable al incremento en la intensidad de la lluvia y el incremento de días con lluvias extremas, por lo que la estructura del pavimento debe tener una mezcla densa drenante para que no permita que el agua se filtre a través de ella (Terhell, Cai, Chiu, & Murphy, 2015).

La mezcla densa drenante es un tipo de pavimento ampliamente utilizado en la construcción de carreteras, autopistas, aeropuertos y otras infraestructuras de transporte. Este tipo de pavimento “se caracteriza por ser una mezcla uniforme y homogénea, elaborada con ligante asfáltico y materiales pétreos bien graduados” (VISE, 2022).

Esta mezcla densa drenante presenta varias ventajas que fueron dadas por el Ing. Civil Heins Webster en la entrevista realizada que nos dicen que este tipo de pavimentos presentan una alta durabilidad por los materiales con los que se construyen que hacen que su estructura no se deforme por la infiltración de agua, por otro lado este tipo de mezclas también ayuda a mejorar el drenaje del agua ya que permite en si una mejora de la evacuación del agua ayudando a disminuir accidentes de tráfico por deslizamiento por el hidropneumático de los vehículos (Webster, 2023).

Además, este tipo de pavimentos según estudios hechos Terhell et al. (2015) tienen el potencial de reducir la escorrentía del agua en un 98%.

Las desventajas de este tipo de pavimentos es que pueden tener un alto costo en comparación de los pavimentos que suelen utilizarse para la construcción de carreteras, además necesitan un mayor tiempo de construcción por la mayor necesidad de compactación y por último necesitan un mantenimiento como todo tipo de pavimento, aunque tiene más durabilidad su mantenimiento es necesario para prevenir problemas de seguridad (Webster, 2023).

Por lo que esta forma de pavimentar sería una gran opción de estructura anticipada al cambio climático ya que ayudaría a frenar sus daños ahora bien para determinar su precio se tomara en primer lugar el precio dado por la municipalidad del Guayas que nos recomendó el ingeniero civil Neils Romero Ronquillo utilizar ya que propone un pavimento que se utiliza para cualquier proyecto vial el cual su composición es flexible, presentado que un m² cuesta \$12.23 (Romero Ronquillo, 2022) y por otro lado estaría el pavimento con una mezcla densa drenante que según estudios hechos por el Ing. Javier Córdova Rizo sus costos de la estructura del pavimento con capa de rodadura elaborado con una mezcla asfáltica densa drenante estarían rondando por un valor de \$16.69 dólares el m² (Córdova Rizo & Mora Cabrera, 2017), mostrándonos que este tipo de estructura es 0.26% más costosa y presenta los siguientes datos para la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan.

Ítems	Descripción	Costo
1	Ampliación red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan con estructura anticipada	\$197498255.09

Además al costo de construcción de la red vial agregara el valor del cambio climático esto a través de la ecuación stress-response , que muestra que por cada grado de aumento de temperatura media, se requiere nuevo aglutinante de asfalto, por lo que el costo de capital aumenta 0,6% (Chinowsky, Schweikert, & Strzepek, 2010), lo que utilizando los datos del CONGOPE nos daría datos que en el peor de los casos la temperatura media anual sería de 1.5°C en el año 2039, mayor a la media que presenta en Guayas y Los Ríos que sería de aproximadamente 27°C (CONGOPE, Estrategia de cambio climático de la provincia de Los Ríos con enfoque de género. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019) (CONGOPE, Insumos para la actualización de la Estrategia Provincial de Cambio Climático de Guayas. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático, 2019), aumentando el costo de construcción en los siguientes valores.

Ítems	Descripción	Costo
1	Ampliación red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan con estructura anticipada	\$375246684.7

Este aumento sería de un 0.9% cada año lo cual haría aumentar su precio en mayor medida ya que se requiere nuevo aglutinante de asfalto si en ambas zonas la temperatura media anual llegara a ser de 28.5°C que sería el peor escenario planteado por CONGOPE el RCP 8.5 en el año 2039, llegando a tener una vida útil con un manejo adecuado de 15 a 25 años (Villacis, 2023), dato que puede variar por el mantenimiento que se tenga.

Este valor de construcción final se lo hará de igual manera en 3 años por lo que su precio daría de \$125082228.2 cada año.

Comparando ambos escenarios podemos ver que el primer escenario planteado por el MTOP tendrá un valor de construcción de \$155850868.9 mientras el escenario que tienen una estructura anticipada tiene un costo de \$375246684.7 lo cual nos dice que este tipo de estructuras que es más adaptable es un 1.41% más costosas que las que se utilizan regularmente, y con ese gasto se toma en cuenta al cambio climático y una estructura que pueda soportar el cambio climático.

En cuestión al costo de mantenimiento de la estructura con mezcla asfáltica densa drenante llegaría a ascender a unos \$0.15 el m2 esto según datos presentados por la ONU y Lara en su documento (Análisis costo-beneficio de medidas de adaptación al cambio climático en áreas urbanas de América Latina, 2017, pág. 47).

Haciendo que el precio de mantenimiento decenal de esta infraestructura sea de \$1.92 el m2 y que daría al total de la infraestructura un valor de \$8779468.8 para mantenerla 20 años.

Este tipo de carretera reduciría la escorrentía en un 98% lo cual haría que daños presentados por las lluvias al año disminuyesen, por lo que utilizando la información del proyecto hecho por MTOP de las zonas que esta carretera es más propensa a inundarse nos darían que un total de 18 km no necesitaría un mantenimiento adicional ya que se adaptaría al incremento de lluvias de mejor manera, presentado los datos de la siguiente manera.

Sin descuento	
Concepto	Total
Construcción vía escenario 1	-\$155850869
Mantenimiento vía escenario 1	-\$8093572.8
Daños por inundaciones 20 años	-\$592596
Total	-\$164537037.8
Sin descuento	
Concepto	Total
Construcción vía escenario 2	-\$375246684.7
Mantenimiento vía escenario 2	-\$8779468.8
Daños por inundaciones 20 años	-\$19284.48
Daños evitados por construcción	\$629959.68
Total	-\$384045438

El factor de descuento para los 20 años sería de:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

0.8928 5714	0.7971 9388	0.7117 8025	0.6355 1808	0.5674 2686	0.5066 3112	0.4523 4922	0.4038 8323	0.3606 1002	0.3219 7324
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.2874 761	0.2566 7509	0.2291 7419	0.2046 1981	0.1826 9626	0.1631 2166	0.1456 4434	0.1300 3959	0.1161 0678	0.1036 6677

Usando el factor de descuento los valores finales nos quedarían de esta manera:

Con descuento	
Concepto	Total
Construcción vía escenario 1	-\$124775830.1
Mantenimiento vía escenario 1	-\$3022724.287
Daños por inundaciones 20 años	-\$221318.1207
Total	-\$128019872.5
Con descuento	
Concepto	Total
Construcción vía escenario 2	-\$300426406.8
Mantenimiento vía escenario 2	-\$3278887.363
Daños por inundaciones 20 años	-\$7202.216809
Daños evitados por construcción	\$240073.8936
Total	-\$251418553.2

Con estos datos sacaremos los siguientes indicadores para analizar el costo/beneficio

Indicador	escenario 1	escenario 2
VPNS	-128019872.5	-251418553.2
VPNP	-127798554.4	-251651424.9
ICB	1.001731773	0.999074626
Valor Anual (FAE)	\$15,362,384.70	\$30,170,226.38

Estos indicadores nos muestran en primer lugar que la instalación de una estructura anticipada es menos rentable en términos de generar un beneficio neto social que el planteado por el MTOP ya que su estructura en términos de costos por construcción, mantenimiento y comparada con los beneficios de evitar daños, no ayuda a generar una mejor relación, ya que los indicadores como el VPNS, VPNP, ICB y valor anual FAE son mayores a los que el proyecto del MTOP presenta, que si se tomaran otro tipo de beneficios se podría llegar a ver que este tipo de pavimento sería una mejor alternativa.

Los beneficios que podrían ayudar a presentarlo como una mejor alternativa si se tomaran en este análisis son que este tipo de estructura ayudara a la seguridad de las personas ya que según lo conversado en la entrevista con Heins Webster una carretera que presenta altos niveles de precipitación debe ofrecer una estructuras óptima que ayude mejor el drenaje de la misma para disminuir considerablemente los accidentes

por el aumento de la pluviosidad que hacen que disminuya el hidropelano de los vehículos (Webster, 2023).

Otro beneficio es el de aumento de la durabilidad de la carretera ya que según Heins Webster en la etapa de diseño al cambiar la estructura y analizar la incidencia del aumento de lluvias y temperatura estas podrían aumentar su vida útil si se las plantea desde un comienzo, aumentando la calidad que tienen las vías, aunque cabe destacar que se debe tener un buen control en la etapa de construcción, además el mantenimiento debe ser óptimo para que este beneficio ayude a que este tipo de carreteras presenten una mayor durabilidad a través de un sistema de gestión óptimo, además si el cambio climático que se toma en cuenta presenta unas condiciones que no fueran las que se tomaron en cuenta en la etapa de diseño el mantenimiento de la vía ayudaría a que esta estructura anticipada resista de mayor manera a estos cambios (Webster, 2023).

Una estructura anticipada además ayudaría a que no se sobrecargue el agua que se encuentre en su superficie y que exista una penetración de agua que provoque al rato de descender en el pavimento se lleve un poco del material fino de la vía ocasionando fallas en la estructura ocasionando baches en la capa de rodadura y que el material que se desliza a otras zonas las cuales se pueden ver ambientalmente perjudicadas por este elemento que posee la infraestructura vial (Webster, 2023).

Otro beneficio de este tipo de infraestructura es que ayudaría a mejorar la movilidad de las personas y a las empresas ya que la red vial Buena Fe – Babahoyo – Jujan es una conexión entre los ríos y el Guayas esto con ya que al presentar una estructura anticipada ayudaría a la disminución de deformidades como baches causados por la infiltración del agua además de que al hacer que el agua no se infiltre y se quede en la superficie deja menos estela de los camiones que quita la visibilidad a los vehículos que transitan estas vías (Webster, 2023).

Además, la infraestructura anticipada presentada ayudaría a disminuir los mantenimientos adicionales ya que por su alta resistencia hace que no sea necesario hacerlos, solo los anuales (Villacis, 2023).

Conclusión

Es importante tener una infraestructura vial anticipada al cambio climático ya que esta al presentar una mayor adaptabilidad a los eventos climáticos extremos como las lluvias extremas y el incremento de las temperaturas se prevé su daño, aumento su durabilidad y ayuda a no realizar muchos gastos por el constante mantenimiento que tiene.

Por otro lado, este tipo de infraestructura, aunque presenta un precio mayor que la estructura normal tiene beneficios importantes a la hora de aumentar la productividad ya que al no presentar daños estructurales más ocasionales, estas vías no se encuentran en su mayoría cerradas por trabajos de mantenimiento y reparación lo que aumenta la movilidad de producto.

Por último, este tipo de infraestructuras ayudaría a la seguridad de las personas ya que al presentar una estructura confiable que no presenta deformidades por el paso de los años muchos accidentes por hidroplaneos de los vehículos se solucionaría.

Causando que la inversión, aunque sea 1.41% y los indicadores del análisis costo beneficio que tomo en cuenta solo costos se pueda justificar por todos los beneficios que puede llegar a presentar y se los tomaran en cuenta en el análisis de costo beneficio, haciendo que este tipo de análisis de plantear en primer lugar las vulnerabilidades que tiene el sector y después presentar las propuestas de inversión y analizarlas a través de un costo beneficio sea efectiva para la toma de decisiones.

Conclusiones y reflexiones finales

Esta investigación nos ha ayudado a abordar los daños que puede provocar el cambio climático en la infraestructura vial implicando tanto costos y beneficios en el ámbito económico y ambiental, comenzando con un breve un análisis del cambio climático para visualizar su conexión con la infraestructura vial y poder definir cual serían las posibles soluciones.

Con ello se comenzó con un análisis de caso para mostrar las afectaciones climáticas que se encuentran presentes en el sector de estudio para poder sectorizar la zona en la que se encuentra el proyecto y responder a la pregunta de ¿Cuáles son las condiciones de vulnerabilidad del corredor vial Buena fe-Babahoyo-Jujan frente a los cambios climáticos?, mostrándonos que para este sector serían los aumentos de las lluvias intensas, basándose en la información que se observó en el análisis de las provincias y sus riesgos climáticos que el CONGOPE y las prefecturas de ambas provincias presentaron, por otro lado, otra vulnerabilidad presentada en el sector de estudio fue el aumento de la temperatura media aunque está ha tenido un crecimiento constante se expuso que en el peor de los casos para el años 2039 existirá un aumento de 1.5°C, lo cual afectaría la estructura de las vías ya que este cambio no estaría visto en su construcción.

Por lo que con el análisis de vulnerabilidad del sector de estudio se comenzó a plantear los distintos escenarios comenzando con el que plantea el MTOP con una estructura que no es impermeable y que en distintos tiempos del año puede inundarse causando un costo adicional de mantenimiento, además de no tomar en cuenta en su precio al cambio climático lo cual hace que su estructura no se encuentre preparada a cambios bruscos de la temperatura.

El otro escenario sería aquel que presenta una estructura anticipada al aumento de las lluvias que causarían inundaciones en distintos sectores de la carretera y que por su estructura haría que está en una gran medida no se vea perjudicada, además de poder soportar altas temperaturas que aumentarían su vida útil, aunque teniendo como desventaja el aumento del costo de su construcción y de mantenimiento.

Ya teniendo los ambos escenarios bien definidos y realizando los cálculos de análisis costo beneficio se pudo responder a la pregunta de ¿Cuáles es el escenario más recomendable para enfrentar los daños que el cambio climático produce en la infraestructura vial, en el corredor vial Buena Fe- Babahoyo Jujan, si se considera el análisis costo beneficio considerando el ámbito económico y ambiental?, el escenario

con una mejor IBC sería el presentado por el MTOP ya que, aunque exista un aumento de mantenimiento anticipado por inundaciones en algunos sectores de la vía, además de que su vida útil sea menor, esta estructura sigue siendo más barata que la anticipada en términos de costos de construcción y de cuidado, haciendo que esta sea la mejor opción en términos económicos, pero esto no justifica en si la toma de decisión ya que si se tomaran en cuenta beneficios como el de seguridad, aumento de la productividad y poder disminuir contaminación por residuos que las inundaciones causan al dañar las vías, el beneficio del escenario número 2 justificaría los altos costos de esta estructura y haría que se vuelva una opción más atractiva para el tomador de decisiones.

Finalmente que este estudio ayudo a responder a la pregunta de ¿Cuáles son los costos y beneficios de los escenarios para enfrentar los daños que el cambio climático produce en la infraestructura vial, en el corredor vial Buena Fe- Babahoyo- Jujan, considerando el ámbito económico y ambiental?, al mirar y analizar como el cambio climático afecto a esta infraestructura y visualizar a través de estas dos alternativas como ciertos factores pueden hacer que la decisión de un proyecto vial sea la indicada y se considere tanto beneficios económicos, como ambientales para decidir la mejor opción.

Referencias

- Bárcena, A., Samaniego, J., Miguel Galindo, L., Ferrer Carbonell, J., Eduardo Alatorre, J., Stockins, P., . . . Mostacedo, J. (31 de Diciembre de 2018). *LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE UNA VISIÓN GRÁFICA*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42228/S1701215A_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Córdova Rizo, F., & Mora Cabrera, C. (2017). *Fabricación en laboratorio de mezcla asfáltica drenante y su relación costo-beneficio respecto con capas densas utilizadas*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Huq, S., Roberts, E., & Fenton, A. (2013). Loss and damage. *NATURE CLIMATE CHANGE*, 947.
- AZQUETA, D. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. Alcalá: MC GRAW HILL.
- BID. (5 de Junio de 2012). *América Latina y el Caribe enfrentan daños cuantiosos por calentamiento global, advierte informe*. Obtenido de América Latina y el Caribe enfrentan daños cuantiosos por calentamiento global, advierte informe: <https://www.iadb.org/es/noticias/america-latina-y-el-caribe-enfrentan-danos-cuantiosos-por-calentamiento-global-advierte>
- BID. (Febrero de 2016). *Un marco para estimar los costos incrementales del cambio climático en infraestructura*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Un-marco-para-estimar-los-costos-incrementales-del-cambio-clim%C3%A1tico-en-infraestructura.pdf>
- Bristow, S. (17 de Septiembre de 2020). *Empresa y cambio climático: El aumento de la sensibilización pública crea una oportunidad significativa*. Obtenido de <https://www.un.org/es/chronicle/article/empresa-y-cambio-climatico-el-aumento-de>

- CONGOPE. (2019). *Insumos para la actualización de la Estrategia Provincial de Cambio Climático de Guayas. Proyecto Acción Provincial frente al Cambio Climático*. Quito.
- CONGOPE. (diciembre de 2019). *Plan de desarrollo vial integral de la provincia de pichincha 2019*. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Pichincha-plan-vial-integral.pdf>
- CONGOPE. (Diciembre de 2019). *Plan de desarrollo vial integral de la provincia de Pichincha 2019*. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Pichincha-plan-vial-integral.pdf>
- CONGOPE. (15 de Diciembre de 2021). *Congope socializó la propuesta técnica del nuevo criterio vial en función de la enmienda constitucional*. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/?p=16763>
- Crespo García, L., & Jiménez Arroyo, F. (27 de Enero de 2021). *Metodología de análisis de adaptación al cambio climático de infraestructuras de transporte*. Obtenido de <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2435>
- Friedlingstein, P. O. (11 de Noviembre de 2022). *Global Carbon Project 2022*. Obtenido de <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>
- INABIO. (19 de Septiembre de 2020). *INABIO perfil de biodiversidad*. Obtenido de <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/perfil-de-biodiversidad/>
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014. Impactos, Adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto informe de Evaluación*. Suiza.
- IPCC. (4 de Abril de 2022). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change*. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- James, R., Otto, F., Hannah, P., Boyd, E., Cornforth, R., Mitchell, D., & Allen, M. (2014). *Characterizing loss and damage from climate change*. Macmillan Publishers Limited.
- MAE. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- MAE. (26 de Noviembre de 2019). *Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Obtenido de <https://bit.ly/3pCurxc>.
- Mechler, R., & et al. (2019). *Science for Loss and Damage. Findings and Propositions*. In: *Mechler, R., Bouwer, L., Schinko, T., Surminski, S., Linnerooth-Bayer, J. (eds) Loss and Damage from Climate Change. Climate Risk Management, Policy and Governance*. Springer, Cham.
- MTOP. (2018-2021). *Plan Estratégico Institucional*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/LOTAIP_10_PLAN-ESTRATEGICO-INSTITUCIONAL-MTOP-2018-2021.pdf
- MTOP. (2020). *Diseño, Financiamiento, Rehabilitación, Ampliación a 4 carriles, Construcción, Operación y Mantenimiento del corredor vial Buena Fe - Babahoyo - Jujan*. Quito: SUBSECRETARÍA DE DELEGACIONES Y CONCESIONES DEL TRANSPORTE.

- NASA. (28 de Febrero de 2023). *Global Climate Change* . Obtenido de <https://climate.nasa.gov/en-espanol/datos/causas/#:~:text=Durante%20el%20%20C3%BAltimo%20siglo%2C%20la,aire%20para%20producir%20CO2.>
- NU. CEPAL, COMISION EUROPEA, GIZ, DFID, & DANIDA. (11 de Noviembre de 2014). *The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: paradoxes and challenges*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11362/37311>
- O'Neill, B., van Aalst, M., Zaiton Ibrahim, Z., Berrang Ford, L., Bhadwal, S., Buhaug, H., . . . Warren, R. (2022). *Key Risks Across Sectors and Regions. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- ONU, & Lara, J. (2017). *Análisis costo-beneficio de medidas de adaptación al cambio climático en áreas urbanas de América Latina*. Obtenido de <file:///C:/Users/MARTIN/Desktop/Mateo/An%C3%A1lisis-costo-beneficio-de-medidas-de-adaptaci%C3%B3n-al-cambio-clim%C3%A1tico-en-%C3%A1reas-urbanas-de-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- PIARC. (2015). *Marco internacional para la adaptación de la infraestructura de carretera ante el Cambio Climático*. París: Asociación Mundial de la Carretera.
- Prefectura de los Ríos. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2015 - 2019*. Los Ríos.
- Raynal-Villaseñor, J. (2011). *Cambio climático global: una realidad inequívoca*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432011000400006&script=sci_abstract&tlng=pt
- Romero Ronquillo, N. (2022). *ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PROYECTO 7 - PAVIMENTACIÓN DE CALLES, INCLUYE OBRAS DE URBANISMO, ALCANTARILLADO PLUVIAL EN SECTOR PERIMETRAL OESTE*. Guayaquil.
- Ruiz, D. (2019). *El Calentamiento Global*. Planeta Libros.
- Ruiz, D. (2019). *El Calentamiento Global* . Planeta Libros .
- SENPLADES. (2012). *SCRIB*. Quito.
- SNGR. (2021). *Informe de Situación - Época lluviosa*.
- SNGR. (2021). *Informe de Situación - Época lluviosa*.
- SNRG, PNUD. (2014). *Agenda de reducción de riesgos*. Babahoyo: PNUD.
- Terhell, S.-L., Cai, K., Chiu, D., & Murphy, J. (2015). *Cost and Benefit Analysis of Permeable Pavements in Water Sustainability*. California.
- UNDESA. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York.
- United Nations Climate Change. (7 de Octubre de 2022). *Introducción a la mitigación*. Obtenido de <https://unfccc.int/es/temas/introduccion-a-la-mitigacion>

Urbano, P. (2005). El papel de las infraestructuras públicas en el desarrollo regional. *Revista Noésis*, 45-67.

Villacis, J. (28 de Marzo de 2023). Cambio climático e infraestructura vial. (M. Proaño, Entrevistador)

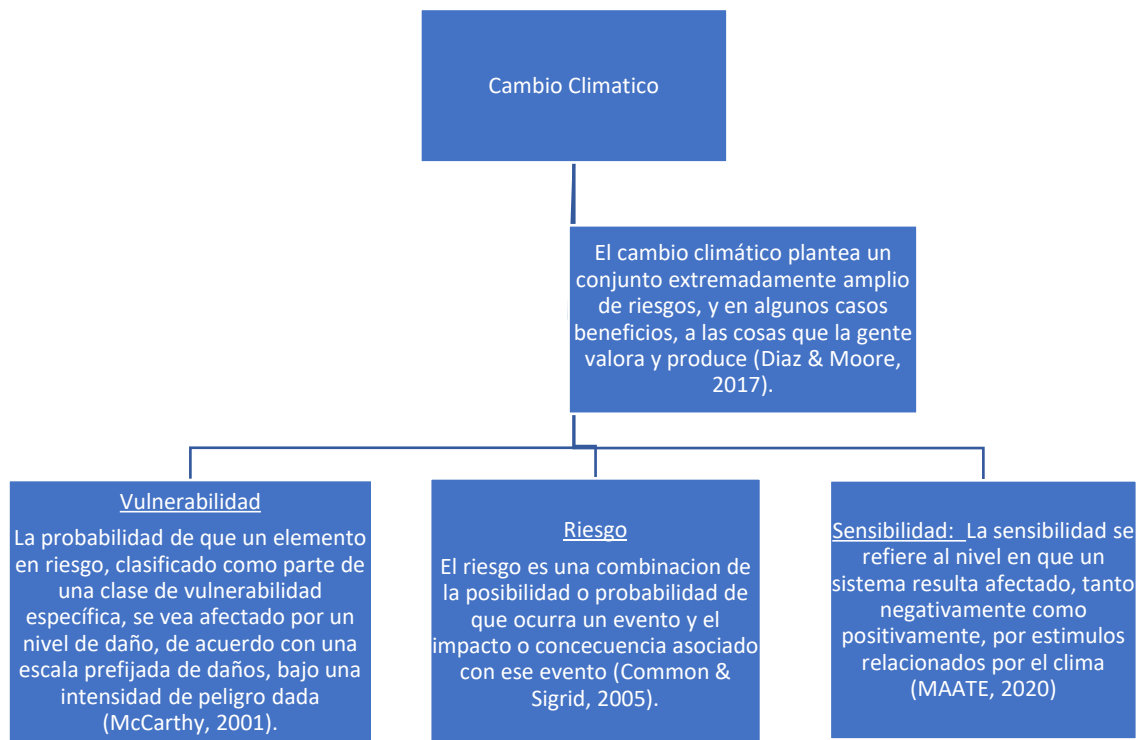
WISE. (25 de Junio de 2022). *PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS*. Obtenido de <https://blog.wise.com.mx/principales-caracteristicas-de-las-mezclas-asfalticas-densas#:~:text=Las%20mezclas%20densas%20son%20mezclas,y%20materiales%20p%3%A9treos%20bien%20graduados>.

Webster, H. (27 de Marzo de 2023). Entrevista infraestructura vial y cambio climático. (M. Proaño, Entrevistador)

World Bank Group. (5 de Mayo de 2020). *Climate Change Knowledge Portal*. Obtenido de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ecuador/climate-data-projections>

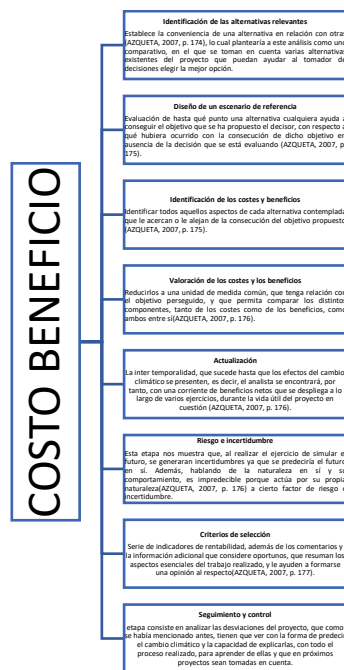
Anexos

1 Gráfico vulnerabilidad, sensibilidad y riesgo climático



Elaboración propia con fuentes de: (Common & Sigrid, 2005), (McCarthy, 2001), (MAATE, 2020).

2 Gráfico etapas para el análisis costo-beneficio



Elaboración propia con fuentes de: (AZQUETA, 2007).