



Ambiente 2030

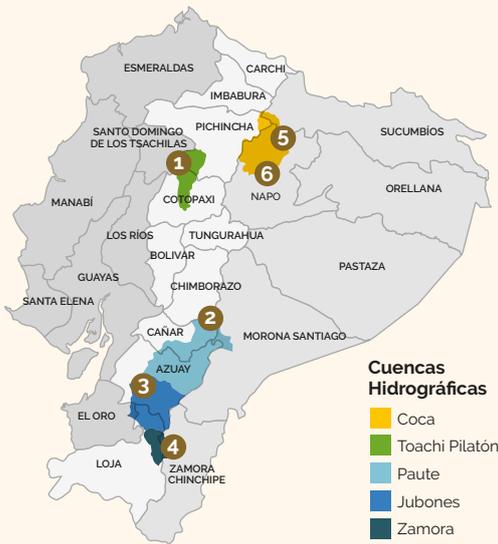
Construyendo la política ambiental

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE

MINISTERIO DEL AMBIENTE



EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA EN ECUADOR



Ubicación de las cuencas de estudio.
Fuente: MAE, 2017

Hidroeléctricas

Ubicación	Proyecto	Potencia
1	Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón*	254.40 MW
2	Proyecto Hidroeléctrico Mazar Dudas*	21 MW
	Central Hidroeléctrica Paute Sopladora	487 MW
	Central Hidroeléctrica Paute Mazar	170 MW
	Central Hidroeléctrica Paute Molino	1100 MW
3	Proyecto Hidroeléctrico Paute Cardenillo**	596 MW
	Proyecto Hidroeléctrico Minas San Francisco*	275 MW
4	Proyecto Hidroeléctrico Delsitanisagua*	180 MW
5	Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair	1500 MW
6	Proyecto Hidroeléctrico Quijos*	50 MW
Potencia Total		4633,4 MW

* En construcción
** En fase de diseño definitivo





Coca Codo Sinclair. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

1. Introducción



De acuerdo a la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, en el año 2012 el 46,63% de las emisiones de gases de efecto invernadero – GEI en el Ecuador¹ fueron producidas por el sector energético. Por cuestiones de soberanía nacional, el país ha realizado grandes esfuerzos para reemplazar la producción de energía de plantas de generación térmica, por generación hidroeléctrica, lo cual permite reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático².

La construcción de centrales hidroeléctricas³ ha sido el pilar del proceso de transformación de la matriz productiva y energética del Ecuador, aumentando la capacidad instalada en 2.832,4 MW. Se estima que una vez operativas las centrales hidroeléctricas en construcción, el 90% de la generación de electricidad del país se producirá con energía hidroeléctrica⁴, alcanzando una inversión de USD 4,7 mil millones de dólares.

Fenómenos globales como el cambio climático pueden alterar la precipitación y temperatura, así como la cantidad y calidad de agua disponible en las cuencas hidrográficas. Estos cambios podrían representar una amenaza para las condiciones de la cuenca, sus pobladores, sistemas productivos y naturales, así como para la generación de energía hidroeléctrica, y la sostenibilidad de la inversión realizada por el Estado en hidroenergía.

Con estos antecedentes y dada la complejidad científica de los posibles impactos del cambio climático en el desarrollo del país⁴, el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) vieron la necesidad de implementar el proyecto “Análisis de la Vulnerabilidad de las Centrales Hidroeléctricas Emblemáticas ante los efectos del cambio climático en siete sub-cuencas hidrográficas del Ecuador (CHECC)”, cuyo objetivo fue evaluar los efectos del cambio climático sobre la sostenibilidad a corto, mediano y largo plazo de estas infraestructuras frente a potenciales alteraciones de la precipitación, temperatura y caudales en las cuencas hidrográficas aportantes.

Como resultado de este trabajo, Ecuador se posiciona como país pionero en realizar estudios a detalle del impacto del cambio climático para el sector hidroeléctrico, en donde el MAE, y el MEER, junto con la mesa técnica², desarrollaron una metodología robusta que permite analizar con mayor certeza la vulnerabilidad, posibles impactos del cambio climático sobre la generación de energía y potenciales beneficios de la adaptación. La metodología es replicable a cualquier unidad hidroeléctrica y cuenca hidrográfica, a nivel nacional y local, puesto que analiza información climática local, escenarios de cambio climático, proyecciones de impactos energéticos y económicos, insumos que son requeridos para el análisis de vulnerabilidad y riesgo climático, así como para la generación de medidas de adaptación.

1 Las centrales hidroeléctricas que el Gobierno Nacional del Ecuador ha impulsado para incrementar la generación de energía a través de fuentes renovables son: Coca Codo Sinclair (1500 MW), Sopladora (487 MW), Delsitanisagua (180 MW), Minas San Francisco (275 MW), Toachi Pilatón (254,40 MW), Quijos (50 MW), Manduriacu (65 MW), y Mazar Dudas (21 MW).

2 La mesa técnica de trabajo se constituyó por: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Secretaría del Agua, Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Corporación Eléctrica del Ecuador, y Ministerio del Ambiente del Ecuador.

El cambio climático puede alterar las condiciones en las cuencas hidrográficas representando una amenaza no solo a las poblaciones y ecosistemas, sino también a la generación de energía hidroeléctrica y a la sostenibilidad de la inversión realizada por el Estado en hidroenergía.

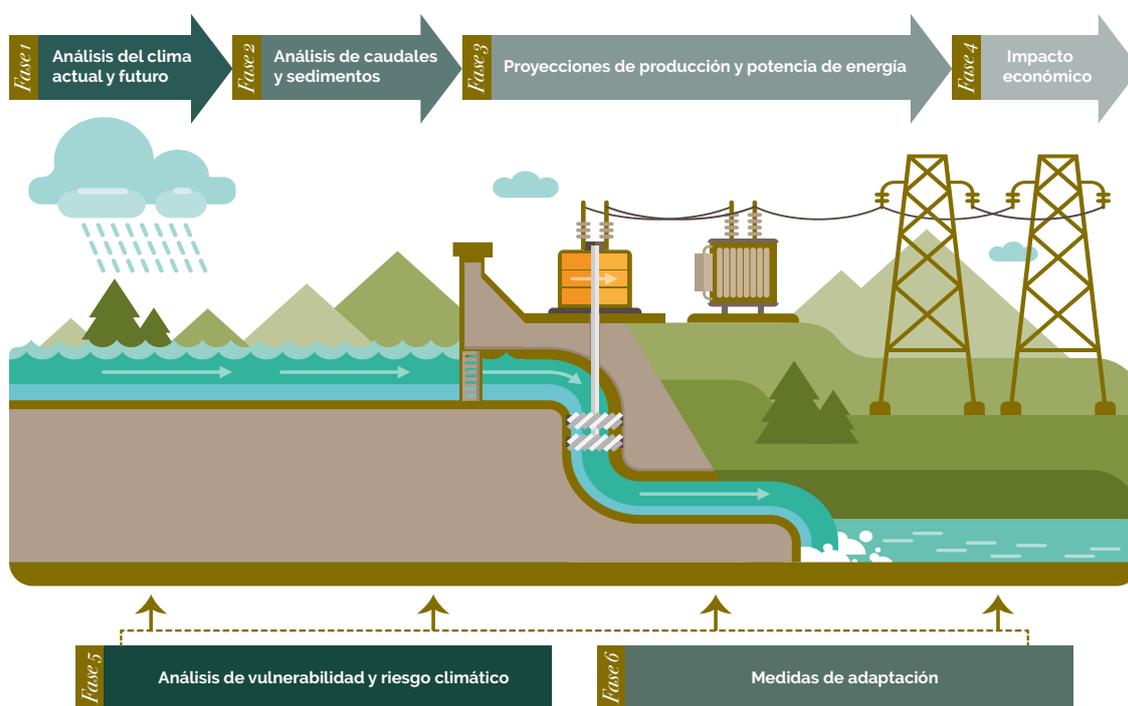
2. Metodología



Área de estudio

El análisis se realizó con base en información oficial disponible para las cuencas hidrográficas de los ríos Quijos, Coca, Toachi, Pilatón, Jubones, Zamora y Paute, donde se ubican los proyectos y centrales hidroeléctricas³. Adicionalmente, se incorporó información secundaria de diferentes estudios realizados en las áreas del proyecto con el fin de mejorar la calidad del análisis.

La metodología empleada para los análisis se efectuó en las siguientes fases:



Secuencia metodológica del análisis de vulnerabilidad de centrales hidroeléctricas a los efectos del cambio climático.

Fuente: MAE, 2017

3 El estudio comprendió centrales hidroeléctricas en fase de operación, construcción y diseños definitivos. Por facilidad de lectura en este documento se utiliza "centrales hidroeléctricas" independientemente de sus fases. Las centrales hidroeléctricas que se han analizado al momento son: Coca Codo Sinclair (1500 MW - en operación), Paute Sopladora (487 MW - en operación), Paute Mazar (170 MW - en operación), Paute Molino (1100 MW - en operación), Quijos (50 MW - en construcción), Toachi Pilatón (254.40 MW - en construcción), Delsitanisagua (180 MW - en construcción), Minas San Francisco (275 MW - en construcción), Mazar Dudas (21 MW - en construcción), Paute Cardenillo (596 MW - en diseño).



Fase 1: Análisis del clima actual y futuro



Para la caracterización del clima se escogió las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con series de datos de 30 años que brinden información sobre precipitación y temperatura. Los datos históricos observados, con los que se realizó la caracterización del clima actual base para el análisis de clima futuro, pasaron por un control exhaustivo de calidad, depuración y clasificación de la información, que asegure el uso de la mejor información disponible. Para el análisis de clima futuro se utilizó la información de los modelos de circulación general y modelos climáticos regionales de cambio climático⁴ (*General Circulation Models – GCMs* y *Regional Climate Models – RCMs*) a corto, mediano y largo pla-

zo, correspondientes a los períodos 2011-2040, 2041-2070, y 2071-2100. De la serie de modelos disponibles utilizados en el Quinto Reporte – AR5 del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC^v (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés), se seleccionaron los que describieron de mejor manera la climatología histórica del país, y con ello obtener información relativa a precipitación y temperatura al futuro. De igual manera, la modelación se trabajó bajo los escenarios de cambio climático del IPCC-AR5: RCP2.6 (optimista), RCP 4.5 (intermedio), RCP 6.0 (intermedio) y RCP 8.5 (pesimista)⁵, los cuales indican las tendencias globales en función de escenarios de desarrollo socioeconómico hacia los distintos períodos al futuro.

Fase 2: Análisis de caudales y sedimentos



Para definir los caudales y sedimentos que aportan las cuencas hidrográficas a las hidroeléctricas, tanto en condiciones actuales como futuras, se utilizó el modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*^{vi}) que permite utilizar datos de precipitación y temperatura, cobertura vegetal y uso de suelo, y potenciales presiones antropogénicas que influyen sobre la generación de caudales y sedimentos. El modelo se calibró para las condi-

ciones de cada cuenca hidrográfica considerada en el análisis e incorporó para los períodos futuros una proyección de cambio de uso del suelo utilizando la información de mapas de cobertura vegetal y uso de suelo para los años 1990, 2000, 2008 y 2014^{vii}. De esta forma se obtuvo la información de caudales y sedimentos actuales y futuros los cuales fueron la base para estimar los potenciales impactos del cambio climático sobre la generación hidroeléctrica.

Fase 3: Proyecciones de producción y potencia de energía



Los impactos del cambio climático sobre la producción de energía hidroeléctrica dependen del tipo de hidroeléctrica (a filo de río o con embalse), el tipo de turbinas, su eficiencia, ubicación y disponibilidad de caudal en la cuenca hidrográfica aportante. La interrelación de estos factores indican una mayor o menor sensibilidad de las hidroeléctricas ante cambios del clima, principalmente cambios en la precipitación. La información generada sobre clima, caudales y sedimentos observados y modelados permitió proyectar los impactos

sobre la producción energética de cada hidroeléctrica. Para el cálculo se simuló el sistema de la central generadora a uno equivalente al existente o diseñado, incluyendo modelación de los tipos de embalses en caso de que existiesen, de manera que se reproduzca la energía con los caudales líquidos y sólidos proyectados bajo efectos de cambio climático. Los cálculos de generación de energía resultantes en esta fase permitieron realizar la evaluación de los impactos económicos que podrían producirse como efecto del cambio climático en las hidroeléctricas.

Fase 4: Impacto económico



La valoración del impacto económico de los cambios provocados por el cambio climático se analizó bajo dos perspectivas: 1) considerando individualmente cada unidad hidroeléctrica, y 2) bajo la visión del Sistema Nacional Interconectado (SNI). La valoración se realizó considerando las políticas de regulación de despacho de energía eléctrica para el país con la correspondiente asignación

económica para las centrales hidroeléctricas y el SNI^{viii ix}. En el primer caso, se valoró cómo la variación de los caudales proyectados podría afectar los ingresos económicos de cada central hidroeléctrica al alterar la cantidad de energía que puede producirse, para lo cual se consideró el costo mínimo de generación por kilovatio⁶. En el segundo caso, se consideró el costo que implica un kilovatio no generado de energía hidroeléctrica que

⁴ Los modelos climáticos permiten modelar la física de la atmósfera, litósfera, criósfera, hidrósfera y biósfera bajo escenarios de cambio climático. La resolución espacial de los GCMs es entre uno y dos grados de arco, y de los RCMs entre 10 y 50 Km dependiendo del modelo.

⁵ Las Trayectorias de Concentración Representativa (Representative Concentration Pathways – RCP por sus siglas en inglés), describen cuatro posibles vías de desarrollo global al futuro, las cuales presentan la evolución de las emisiones y concentraciones de GEI que causan el calentamiento global y el cambio climático. Estas trayectorias conducirían a características específicas de forzamiento radiativo (W/m²), y se representan de menor a mayor como: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5.

⁶ Se consideró lo estipulado por la normativa vigente hasta 2016: USD. 2 por Megavatio (MW) generado.

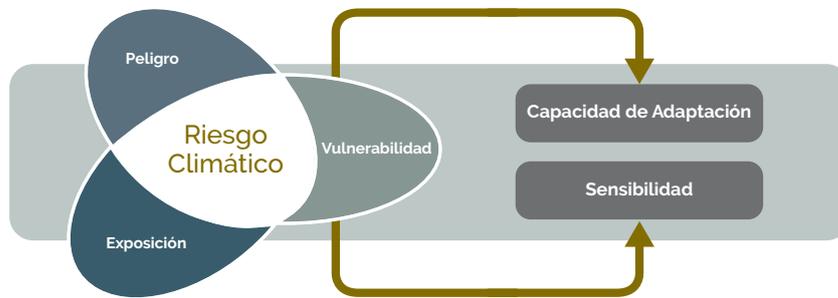
tiene que ser generado o compensado por energía más costosa producida sea por termoeléctricas o por otra central de generación hidroeléctrica, costo que es asumido por el SNI y que podría representar un impacto económico para el sistema. Este impacto económico dependerá de la época del año, puesto que en época seca el costo de producción por kilovatio es mayor que en época lluviosa. El impacto económico del cambio climático que cada central hidroeléctrica genere sobre el SNI es relativo, puesto que se requiere conocer el balance de impactos positivos y negativos de todas las centrales hidroeléctricas para calcular el impacto total del cambio climático sobre el SNI. En este senti-

do, al momento se han evaluado 4633,4 MW de potencia entre centrales hidroeléctricas en operación, construcción y diseño. Bajo este análisis se obtuvieron los impactos económicos del cambio climático en los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en los escenarios RCP indicados previamente. Adicionalmente, se calculó el impacto económico que tendrían las centrales hidroeléctricas por eventuales aumentos en la cantidad de sedimentos lo que implicaría un desgaste mecánico de las turbinas y equipamiento, requiriendo mantenimientos y cambios de maquinaria con mayor frecuencia, lo que aumentaría los costos previstos durante su vida útil.

Fase 5: Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático



El análisis de vulnerabilidad^a y riesgo climático^b de las centrales hidroeléctricas y cuencas hidrográficas aportantes, se basó en los principios y componentes desarrollados en el IPCC-AR5:



Marco conceptual para el análisis de vulnerabilidad y riesgo climático (Elaborado por: MAE, 2017)
Fuente: IPCC AR5, 2014

El análisis de vulnerabilidad y riesgo climático de las centrales hidroeléctricas se realizó bajo dos abordajes: 1) cuenca hidrográfica en términos espaciales, y 2) infraestructura, gestión institucional y elementos electromecánicos de la central hidroeléctrica. Bajo el primer abordaje, se evaluó la vulnerabilidad de la cuenca hidrográfica representada a través de sistemas de información geográfica. Para ello se toma en consideración los patrones de precipitación, temperatura, caudales y sedimentos proyectados bajo efectos del cambio climático, y su relación con variables ambienta-

les, sociales y económicas. El análisis espacial consideró a la cuenca hidrográfica donde se ubica cada central hidroeléctrica como la unidad de estudio. Bajo el segundo abordaje, se tomó como unidad de evaluación a la central hidroeléctrica, y se analizó a través de cálculos estadísticos, la capacidad de adaptación, sensibilidad, vulnerabilidad, y riesgo climático de las centrales hidroeléctricas frente a los efectos del cambio climático. Este análisis incluyó los patrones proyectados y su relación con variables ambientales, sociales y económicas mencionados en el primer abordaje.

El cálculo de la vulnerabilidad se realizó como la diferencia de la sensibilidad^c y la capacidad de adaptación^d bajo distintas variables conforme se presenta a continuación:

$$A \quad \text{Vulnerabilidad} = \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad de adaptación}$$

B Vulnerabilidad	Componente	Ejemplos de variables utilizadas
Central hidroeléctrica	Sensibilidad	Aporte de sedimentos, caudal turbinable, caudal mínimo turbina, potencia de la central, caudal ecológico, densidad de drenaje, cambio de usos de suelo, entre otras.
	Capacidad de adaptación	Capacidad de monitoreo, número de turbinas, capacidad de reservorio (en el caso que disponga), alternativas energéticas del país, entre otras.
Cuenca hidrográfica	Sensibilidad	Sedimentos, escorrentía superficial, vías cercanas al curso fluvial, presión antrópica - poblaciones, deforestación, entre otras.
	Capacidad de adaptación	Áreas bajo alguna figura de protección, áreas potenciales de reforestación, áreas agropecuarias (alta capacidad para implementar medidas de adaptación), entre otras.

^A Expresión utilizada para el cálculo análisis de vulnerabilidad.

^B Ejemplo de variables utilizadas para el cálculo de la vulnerabilidad de las centrales hidroeléctricas y cuencas hidrográficas ante los efectos del cambio climático.

Fuente: MAE, 2017



Adicionalmente, se evaluó el riesgo climático al que se enfrentan las centrales hidroeléctricas, considerando las condiciones sociales y ambientales a las cuales están expuestas; este se obtuvo por la combinación de las amenazas^e físicas con la vulnerabilidad de los elementos expuestos^f.

En este sentido, se consideró cada uno de los componentes de forma individual (exposición, vulnerabilidad y amenaza), lo que permite establecer las circunstancias particulares que generan riesgo climático, y evita sesgos o limitaciones que puedan generarse en la construcción de indicadores sintéti-

cos. De esta manera, se detectó cuál de los componentes está influyendo en mayor o menor proporción al riesgo climático de las centrales hidroeléctricas, permitiendo la identificación de medidas que aumenten la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático sobre esos componentes particulares. Para lo cual, se utilizó la valoración cualitativa del riesgo climático, conjugando información semi-cuantitativa del análisis de vulnerabilidad (basada en indicadores cuantitativos y cualitativos reforzados con conocimiento de expertos) e información cuantitativa del análisis de amenaza (cambios en caudales líquidos y sólidos).

 Componente	Interpretación
Exposición	La evaluación utilizó los caudales y sedimentos futuros en la cuenca que serán captados por las hidroeléctricas como el objeto expuesto.
Vulnerabilidad	El análisis consideró a la vulnerabilidad como la propensión del caudal y sedimentos que captan las hidroeléctricas expuestas a los efectos del cambio climático, así como a los cambios en las condiciones sociales y ambientales de la cuenca hidrográfica.
Amenaza	El estudio contempló a la amenaza como el potencial cambio de los caudales y sedimentos proyectados a futuro debido a los acontecimientos o tendencias físicas relacionadas con el cambio climático.

 Interpretación de los componentes de riesgo climático de las centrales hidroeléctricas analizados bajo los efectos del cambio climático
Fuente: MAE, 2017

Fase 6: Medidas de adaptación



Los resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo climático espacializados en las cuencas hidrográficas de cada central hidroeléctrica permitieron definir medidas de adaptación a los efectos del cambio climático. En este sentido, se identificaron medidas de adaptación⁷ al cambio climático adecuadas para disminuir la vulnerabilidad y riesgo climático en los lugares de estudio:

1) Manejo integral de cuencas hidrográficas, 2) Mejoramiento de redes de monitoreo hidrológico y meteorológico, 3) Mejoramiento de prácticas agrosilvopastoriles, 4) Reforestación y restauración forestal, 5) Manejo eficiente del agua, 6) Construcción y fortalecimiento de capacidades locales, y 7) Ordenamiento territorial y planificación del uso del suelo.

A su vez, a partir del análisis de vulnerabilidad y riesgo climático, se pudieron identificar recomendaciones de medidas de adaptación que mantengan o mejoren la capacidad de generación de la central hidroeléctrica, como por ejemplo, mejoras en el diseño del equipo-electromecánico, y manejo de los volúmenes de almacenamiento y aprovechamiento. La factibilidad de implementar estas medidas es mayor cuando las centrales hidroeléctricas se encuentran en fase previa a la de “diseños definitivos”, puesto

que cambios estructurales o electro-mecánicos en centrales hidroeléctricas en construcción o en operación resultarían costosos. Finalmente, se realizó un análisis costo-beneficio, en el cual se evaluó dos escenarios: el primero con la implementación de las medidas de adaptación y el segundo sin su implementación. Para ello se seleccionaron medidas⁸ de adaptación específicas que puedan modelarse ya sea desde la fase 2, 3 o 4; por ejemplo, la restauración forestal, la cual tiene incidencia directa en el cambio de cobertura y uso de suelo, afecta los caudales y sedimentos modelados durante la fase 2, lo que influye en la generación de energía simulada en la fase 3, y resulta en variaciones del impacto económico calculadas durante la fase 4.

Este análisis permitió generar información en tres categorías:

1) escenarios costo-benéficos en términos económicos y energéticos para las centrales hidroeléctricas y al SNI, 2) beneficios directos y externalidades para el país, y 3) co-beneficios de mitigación resultantes de medidas de adaptación que fijen carbono y reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero. Con base en esta información, se construyeron rutas de adaptación al cambio climático en el corto, mediano y largo plazo, identificando elementos para la priorización de financiamiento e inversión.

⁷ Es importante mencionar que durante la implementación de las medidas de adaptación deberán incorporar el enfoque de género y de grupos humanos de atención prioritaria, así como el enfoque de paisaje, con lo que se asegure una acción integral en territorio.

⁸ Entre las medidas de adaptación identificadas que pueden modelarse se encuentran: restauración forestal, técnicas de gestión sostenible del suelo, dragados (para las centrales hidroeléctricas con embalse) y opciones de mejora en el aprovechamiento del recursos hídrico (para proyectos hidroeléctricos previa la fase de diseño).

3. Lecciones aprendidas

La metodología desarrollada muestra el compromiso del Ecuador en la construcción de herramientas que permitan evaluar los impactos del cambio climático y planificar la adaptación. Por tanto, esta herramienta es de gran utilidad para la evaluación de los impactos del cambio climático en la generación hidroeléctrica, la cual es fundamental en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Ecuador.

En este sentido, la metodología posee un alto potencial de réplica para realizar futuros análisis que permitan incrementar la capacidad de adaptación al cambio climático en nuevos proyectos hidroeléctricos, así como en aquellos que se encuentran en operación.

Para la evaluación de los impactos del cambio climático, la información hidrológica y meteorológica local es fundamental, sin embargo, esta información es limitada, incompleta, e imprecisa en diferentes zonas del país donde se desarrollan los proyectos hidroeléctricos; por tanto, es necesario mantener, mejorar, y fortalecer la red hidrológica y meteorológica nacional. Esto brindará al país evaluaciones de impacto del cambio climático de mayor resolución temporal y espacial, con menor incertidumbre, y con proyecciones robustas del clima futuro.

La experiencia del proyecto CHECC permitió vincular la vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas con la de las centrales hidroeléctricas, tanto en términos de generación energética como en términos de impactos económicos que se podrían presentar como consecuencia del cambio climático.

Medidas de adaptación locales construidas a partir de análisis de vulnerabilidad y riesgo climático, permiten vincular las estrategias de intervención a nivel de cuencas hidrográficas con el aumento de la capacidad adaptativa, y reducción de vulnerabilidad y riesgo climático de las poblaciones locales y sistemas naturales. Esto traduce los esfuerzos de adaptación en las cuencas hidrográficas, hacia co-beneficios de mitigación en la generación de energía hidroeléctrica, a través del mantenimiento y regulación de la producción de caudales que generan energía, que a su vez reducen gases de efecto invernadero, y que brindan así un beneficio directo a las centrales hidroeléctricas y al país.



Glosario

- De acuerdo al IPCC-AR5:
- La vulnerabilidad es la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos incluyendo la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.
 - El riesgo climático es la consecuencia eventual en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acacamiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias.
 - La sensibilidad es el grado en el que se ve afectado un sistema o especie, negativa o positivamente, por la variabilidad climática o por el cambio climático. El efecto puede ser directo (por ejemplo, un cambio en el rendimiento del cultivo en respuesta a un cambio en la media, rango, o la variabilidad de la temperatura) o indirectos (por ejemplo, daños causados por un aumento en la frecuencia de inundaciones costeras debido al incremento en el nivel del mar).
 - La capacidad de adaptación es la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.
 - La amenaza es el potencial de ocurrencia de un evento natural o físico inducido por el hombre o tendencia o impacto físico, que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como los daños y la pérdida de bienes, infraestructura, medios de vida, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
 - La exposición es la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

Referencias

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Capítulo 2, Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2012. Quito, Ecuador.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 559 pp.
- Tomado de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Proyectos de Generación Eléctrica: <http://www.energia.gob.ec/proyectos-emblematicos-2/>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Capítulo 4, Avances de la Adaptación al Cambio Climático en Ecuador. Quito, Ecuador.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y New York, NY, USA, 1535 pp.
- Tomado de Soil and Water Assessment Tool (SWAT – por sus siglas en inglés): <http://swat.tamu.edu>. Analizado en septiembre, 2014.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). Mapa de uso de la tierra. Quito, Ecuador.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, Agencia de Regulación y Control de Electricidad, y Operador Nacional de Electricidad. (2017). Plan Maestro de Electricidad 2016-2025. Quito, Ecuador.

MINISTERIO DE
ELECTRICIDAD Y
ENERGÍA RENOVABLE

MINISTERIO
DEL AMBIENTE



Con el apoyo de:

Implementada por
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Ministro del Ambiente: Tarsicio Granizo
Viceministra del Ambiente: María Eulalia Pozo V.
Subsecretaría de Cambio Climático: María Victoria Chiriboga
Directora Nacional de Adaptación al Cambio Climático: Stephanie Ávalos
Coordinador proyecto CHECC: Nicolás Zambrano

Ministro de Electricidad y Energía Renovable: Carlos Pérez
Viceministro de Energía: Mauro Intriago
Subsecretario de Generación y Transmisión de Energía: Marco Valencia
Directora de Expansión de la Generación y Transmisión de Energía: María Fernanda Jara

Este documento fue elaborado en el marco del proyecto "Análisis de la Vulnerabilidad de las Centrales Hidroeléctricas Emblemáticas ante los efectos del Cambio Climático en siete subcuencas hidrográficas del Ecuador - CHECC", ejecutado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables y co-financiado por la Cooperación Técnica Alemana (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ), por encargo del Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) del Gobierno Federal de Alemania, y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF).

Revisión: Michelle Delgado, MEER; Carla Gavilanes, GIZ; Nadia Manasfi, GIZ.
Fotografía: MAE
© MAE, Quito, 2018



youtube.com/user/AmbienteEc/



flickr.com/photos/ministerioambienteecuador



twitter.com/Ambiente_Ec



facebook.com/AmbienteEc

WWW.AMBIENTE.GOB.EC

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR



EL
GOBIERNO
DE TODOS