



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Metodología de análisis de riesgo por cambio climático validada para la identificación de vulnerabilidades propias del sector minero energético

Bogotá D.C., Diciembre de 2025



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



PARTE 1

Metodología de análisis de riesgos territoriales por cambio climático

I.1. Marco conceptual territorial

El clima, entendido como las condiciones atmosféricas predominantes durante un período en un lugar, región o en el planeta entero, es generado por la energía solar que ingresa al planeta y se almacena en la atmósfera, en la hidrosfera (océano), en la litosfera (suelo), la biosfera y la antroposfera (la esfera creada por las actividades humanas); parte de la energía que la superficie terrestre emite en onda larga hacia el espacio, es retenida por el efecto invernadero de la atmósfera (Figura 1). Así, en el sistema Tierra, la energía solar se almacena en forma de calor en el agua, en el suelo y en la atmósfera, en una distribución espacial heterogénea, la cual genera diferencias de presión atmosférica, las que, a su vez, impulsan el movimiento de las masas de aire y generación de la circulación de la atmósfera.

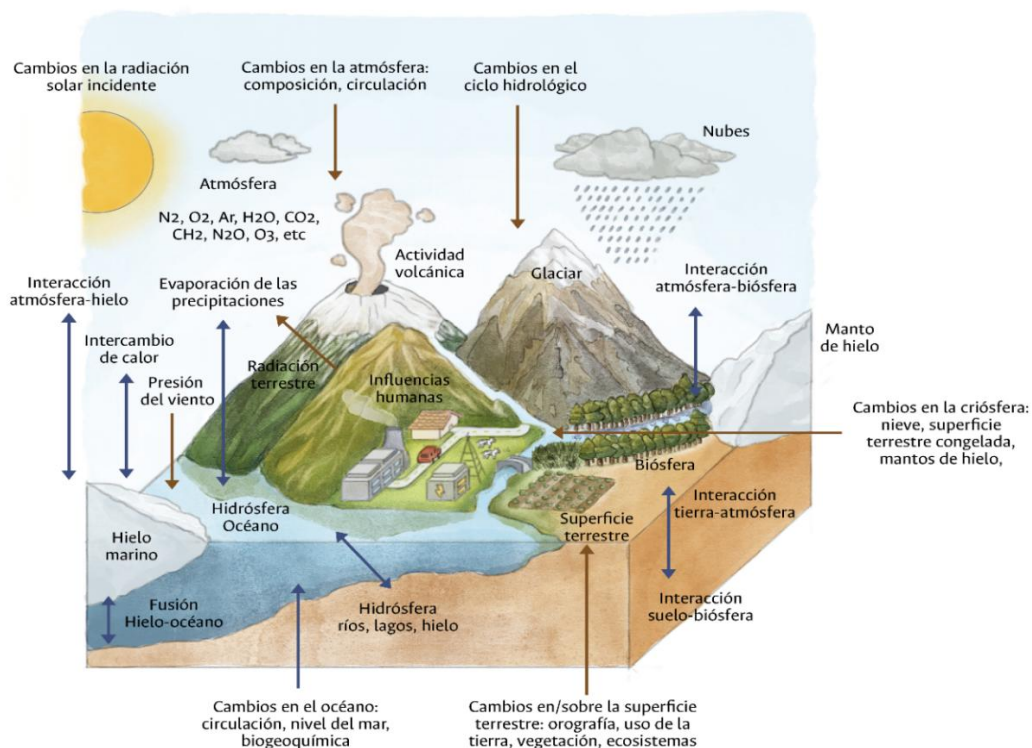


Figura 1. Representación esquemática del sistema climático.

La circulación atmosférica redistribuye el calor, la humedad, la nubosidad y la precipitación estableciendo patrones de distribución espacial como los que se presentan en la Figura 2, la que induce a la diversidad de climas en el planeta; áreas con determinada temperatura media del aire, y con determinados volúmenes de precipitación. El clima de un lugar, dependerá de su localización

en esa distribución global, de cómo esté ubicado en relación con el Ecuador (latitud), la altura sobre el nivel del mar, en la costa o lejos de ella adentro en el continente (continentalidad), con las corrientes atmosféricas y marinas. Así, los lugares situados en la franja ecuatorial (5°S y 5°N) son generalmente cálidos y húmedos, en tanto que los ubicados entre 15°N y 22°N (zona subtropical), por ejemplo, son climas secos. Tales climas presentan estacionalidad expresada en la temperatura del aire (verano, otoño, invierno, primavera) o en la precipitación (estación lluviosa, estación seca).

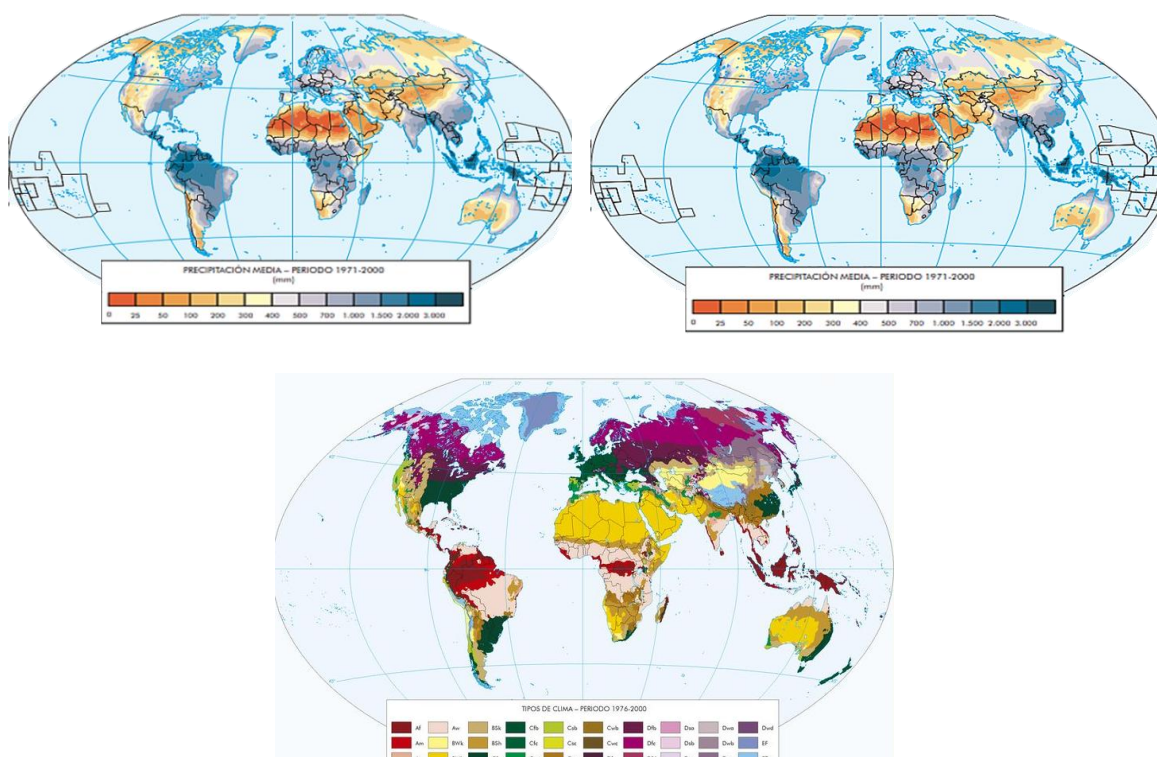


Figura 2. Distribución global de la temperatura media del aire (arriba), de la precipitación anual (panel del medio) y los tipos de clima según Köppen (abajo). Tomado de http://atlasnacional.ign.es/wane/Medio_natural_en_el_mundo

Una de las complejas interacciones entre los componentes del sistema climático, es la que ocurre entre la atmósfera y la antroposfera (procesos antroposféricos o socioeconómicos), es la relación mutua o bidireccional clima-sociedad. La Figura 3 ilustra tal relación, mostrando una vía en la que la sociedad emite hacia la atmósfera gases de efecto invernadero, altera la composición de esta, fortalece tal efecto, genera un calentamiento global y un cambio climático; en la vía contraria está la influencia del clima en diversos aspectos de la sociedad.



Figura 3. Representación del “riesgo de impactos asociados al clima” (sic), una forma de señalar la interacción de doble vía entre la sociedad y el clima, desde la perspectiva del cambio climático (Tomado de (IPCC, 2014, ver SPM.1, página 3).

La Figura 3 toma la representación de la interacción clima y sociedad que el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) ha venido exponiendo desde el Special Report on Extremes -SREX (IPCC, 2012). Tal diagrama pretende representar el “*risk of climate-related impacts*” (“el riesgo de los impactos asociados al clima”). Si bien, este esquema ha sido tomado como referente en distintos documentos de comunicaciones nacionales de diferentes países y del mismo IPCC (ver, por ejemplo, IPCC, 2014 o incluso IPCC, 2021 con algunas modificaciones desde un modelo circular en un contexto más amplio), es necesario llamar la atención acerca del cuidado que se debe tener al considerar este esquema. Por un lado, el esquema no es del todo lógico conceptualmente, ya que el riesgo es el probable impacto negativo, por lo que no se debería hablar de “riesgo de impacto”. De otra parte, los impactos negativos se generan por las fases extremas de la variabilidad climática o por el cambio climático, no por el clima (la condición normal); los posibles impactos de la primera se analizan como riesgo de desastre, los del segundo, como riesgo por cambio climático; por lo que no deben ser tratados de igual manera bajo el término de “riesgo de impactos asociados al clima”. Se debería denominar “riesgo por cambio climático” y “riesgo de desastre por fases extremas de la variabilidad climática”. Se hacen estas aclaraciones, toda vez que en adelante en este documento estos conceptos se mencionarán recurrentemente significando esto último.

En la evolución del planeta Tierra, la antroposfera es la esfera más reciente, que es el resultado de la interacción de la sociedad con el medio biogeofísico, la cual requiere espacio para localizarse y producir los alimentos y energía para mantener diversas actividades esenciales para su funcionamiento. Por ello, para su desarrollo, afecta las demás esferas incidiendo en su composición



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



y funcionamiento. Esta esfera se ha venido consolidando en los últimos 10.000 años y en los últimos 300 años, por el aumento de la población y de sus actividades, junto con un modelo de desarrollo inadecuado, ha fortalecido su capacidad de influencia en los demás componentes del sistema. Así, procesos como la transformación de la superficie y el uso de combustibles fósiles, están modificando la composición de la atmosfera agregándole gases de efecto invernadero y cambiando las propiedades radiativas de la superficie terrestre que mantienen el clima del planeta, lo que a su vez está generando un calentamiento de la atmosfera global y un cambio climático (cambio climático antropogénico de la Figura 3) que impactará a la sociedad. En la actualidad hay preocupación por el problema y se pretende atenuar la magnitud del calentamiento y del cambio climático con acciones como la disminución del uso de combustibles fósiles y el paso a utilización de energías no basadas en carbón, la captura de dióxido de carbono atmosférico, que se integran en las denominadas acciones para la mitigación.

Como se observa del párrafo anterior, los procesos que se ilustran en las Figuras 1 y 3 ocurren en una compleja interacción entre los componentes del medio físico-biótico y el social. Una vía al análisis de los complejos procesos de interacción entre los diferentes componentes del sistema Tierra (y en particular, del sistema climático) es la teoría de los sistemas socio-ecológicos, una aproximación que ha tenido un acelerado desarrollo en las tres últimas décadas (Newell et al., 2005; Folke, 2006; Folke et al., 2007; Young et al., 2006; Ostrom, 2009; Binder et al., 2013; Berrouet et al., 2018; Avriel-Avni & Dick, 2019), aunque sus raíces están en los años 70s y 80s del siglo XX. Resumiendo, el avance en el tema, el concepto de sistema socio-ecológico se refiere a un sistema coherente de factores biofísicos y sociales que regularmente interactúan de una manera compleja, resiliente y sostenible, a través de procesos que ocurren en diferentes escalas espaciales, temporales y organizativas, las cuales pueden estar jerárquicamente relacionadas. Para el análisis de los sistemas socio-ecológicos existen diferentes marcos de aproximación (Binder et al., 2013 describieron 10 de estos marcos). En la aproximación que utiliza el IPCC (2012, 2014 y 2021), que se resume en este documento con las Figuras 1, 3 y 4, no hay una referencia explícita a sistemas socio-ecológico, ni señala un marco de análisis para su estudio; no obstante, al tratar de ubicarla en uno de los marcos descritos por Binder et al., (2013), se podría considerar que está en un híbrido entre el marco de Análisis del Sistema Tierra, proveniente de las Ciencias Naturales, y el Análisis del Ambiente de los Sistemas Humanos, mirada generada en el International Human Dimension Program (IHDP) del Programa Internacional de Biosfera y la Geoesfera (IGBP).

El objetivo principal de análisis en el IPCC (2012) fueron los fenómenos extremos, allí se aplica el marco de la teoría de riesgo de desastre en el que señala que la relación entre el medio natural y la sociedad se expresan en términos de fenómeno extremo, exposición, amenaza, vulnerabilidad y riesgo. El IPCC (2014) retoma el marco para aplicarlo al riesgo por cambio climático, sin hacer clara la diferencia que el cambio climático no es un extremo momentáneo sino una transformación

El IPCC (2021) introduce un cambio significativo al adoptar un enfoque más complejo basado en la conceptualización de los sistemas acoplados entre clima, ecosistemas y sociedad. La representación conceptual (Figura 4) a diferencia de la Figura 3, enfatiza en los procesos dinámicos tales como las transiciones hacia la resiliencia climática, los límites de la adaptación y las conexiones con la biodiversidad. En particular, el esquema amplía la perspectiva, incluyendo aspectos como la salud planetaria, la justicia social y las transiciones hacia sistemas resilientes. Además, introduce el término "propulsor de riesgos" (risk propeller), reflejando cómo los riesgos afectan tanto a los ecosistemas como a los sistemas humanos y sus interacciones, y da un paso más hacia la idea de "riesgos compuestos", considerando los límites de adaptación y las pérdidas y daños asociados. Este enfoque resalta la interdependencia de los elementos que conforman el sistema climático y los sistemas socioeconómicos, aunque el concepto central de riesgo sigue siendo consistente con IPCC (2014), a pesar de situarlo en un contexto más amplio.

(a) Main interactions and trends

(b) Options to reduce climate risks and establish resilience

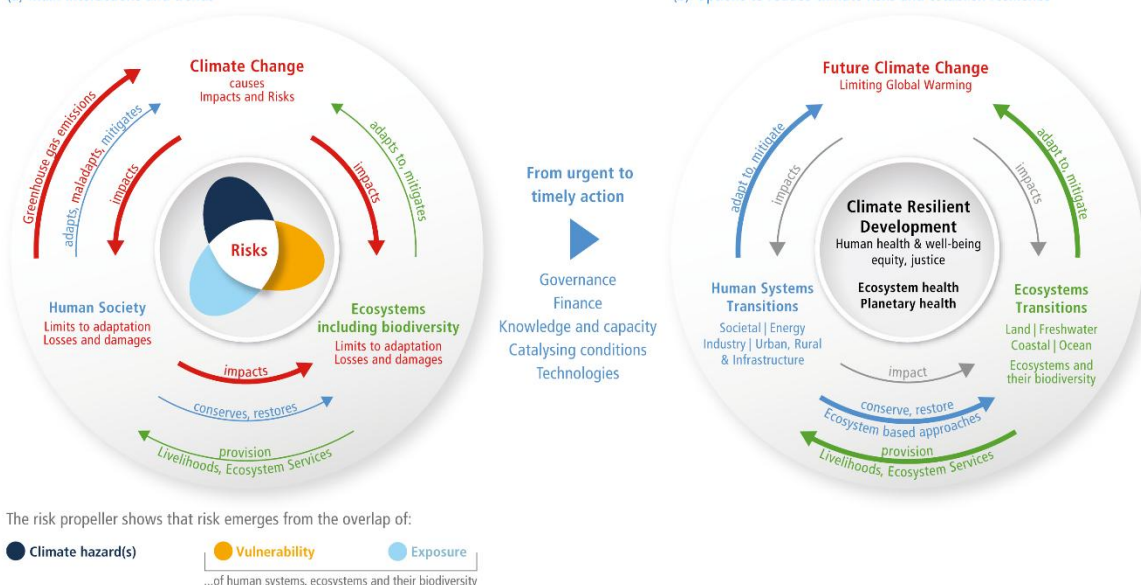


Figura 4. Representación de las interacciones entre los sistemas acoplados clima, ecosistemas (incluida su biodiversidad) y sociedad humana entre la sociedad y el clima. En la imagen de la izquierda (a) se muestran las principales interacciones y tendencias. En la imagen de la derecha (b) se representan las opciones para reducir los riesgos climáticos y aumentar la resiliencia. Tomado de IPCC, (2021).



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



El cambio climático que está en curso impactará de diversas formas las dinámicas sociales, económicas y culturales que ocurren en territorios en el planeta. La magnitud de tales impactos dependerá tanto de la magnitud del cambio en el clima, del grado de sensibilidad que se tenga en diferentes aspectos de la sociedad a dicho cambio y de la forma como la sociedad se organiza en el territorio (social, económica y políticamente) y cómo se relaciona con la naturaleza (cultura) para afrontarlo y adaptarse. Es necesario prever los posibles impactos del cambio climático (que, en el marco de la teoría del riesgo se denominan riesgos por cambio climático) para tratar de reducirlos en la medida como se vaya avanzando hacia el futuro. Por ello, para la gestión (reducción) del riesgo por cambio climático es importante conocer no solo el cambio y sus efectos en el medio biogeofísico, sino también comprender que tan sensibles son a dicho cambio y las condiciones con las que la sociedad (las comunidades en los territorios, los diferentes sectores sociales y los sectores productivos) hará frente a estos, es decir su vulnerabilidad.

Sin desconocer que la relación clima-sociedad es en doble vía o interactuante (el clima influye en la sociedad y la sociedad incide en el clima) como se representa en el sistema climático de las Figura 1, 3 y 4, el análisis del riesgo por cambio climático se enfoca en identificar los posibles impactos del cambio climático sobre la sociedad o los territorios, es decir en la vía de la influencia del clima sobre la sociedad. Por ello, el presente marco conceptual se fundamenta en el hecho de que el clima, entendido como la condición atmosférica predominante durante un período (IDEAM-UNAL, 2018), incide en los diversos aspectos de un territorio de la manera como se ha descrito.

1.1.2 La influencia del clima en la sociedad y en el territorio

La influencia del clima en el territorio¹ se explica con el hecho de que los procesos físico-bióticos, socio-económicos y culturales de un territorio están de diferentes formas relacionados con la distribución espacial y estacional (ciclo anual) de las variables climatológicas (temperatura media, precipitación anual, viento, frecuencia de fenómenos extremos, etc). Por ejemplo, la fenología de plantas y animales, así como las relaciones ecológicas inter-específicas en los ecosistemas están sincronizados con el clima (Aguirre et al. 2011). También la oferta natural del agua regula diversos procesos socioeconómicos asociados al suministro para abastecimiento de la población y a la gestión del recurso. De otra parte, es ampliamente conocido que las actividades como la agricultura y la ganadería están estrechamente relacionadas con la distribución espacial y estacional de la temperatura del aire y de la precipitación; otras actividades socioeconómicas que se desarrollan en un territorio también están influenciadas por el clima. La ocurrencia de desastres generados por

¹ Territorio entendido como el área del espacio geográfico delimitado por un interés de ocupación, uso y beneficio, el cual se asegura mediante el control a través del ejercicio del poder. Siendo espacio geográfico, en el interactúan procesos biogeofísicos, socioeconómicos y culturales

fenómenos extremos de índole meteorológica o climática que generan desastre, también están regulados por el clima. La Figura 5 representa esquemáticamente la relación clima-territorio y la Tabla 1 resume las formas como el clima incide en cada uno de los aspectos del territorio señalados en el esquema.

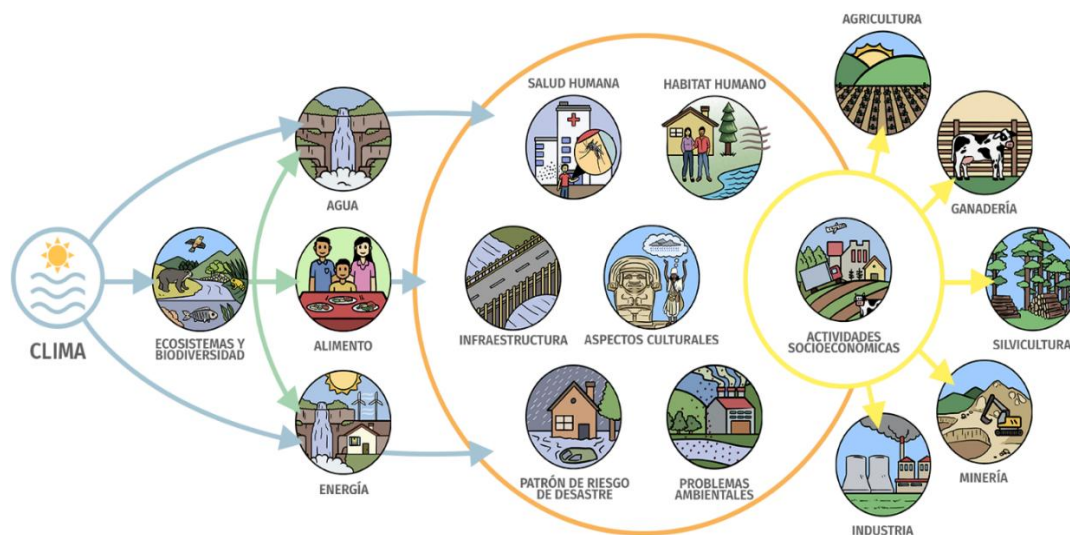


Figura 5. Representación esquemática de la relación clima – territorio. Los procesos físico-bióticos y socioeconómicos que se desarrollan en un territorio están de diversa forma y grado relacionados con la distribución espacial y el ciclo anual de las variables climatológicas

Tabla 1. Síntesis de las diferentes formas como el clima influye en los diferentes aspectos del territorio

ASPECTOS DEL TERRITORIO	RELACIÓN CON EL CLIMA
Ecosistemas y biodiversidad	El clima incide en la distribución espacial de los biomas y, por ende, de los ecosistemas. La estacionalidad del clima incide en la fenología de plantas y animales.
Agua y recursos hídricos	El clima incide en la disponibilidad natural de agua a través de la escorrentía, determinando una distribución espacial y temporal de la oferta natural de agua.

Alimento y seguridad alimentaria		Debido a que el clima incide en las plantas y animales (en su desarrollo y salud), tiene influencia en la disponibilidad de alimento en el autoabastecimiento por cultivos de pancoger, cría de animales domésticos, pesca; con ello, incide en uno de los componentes de la seguridad alimentaria (la producción de alimentos); otros componentes como el acceso se afectan a través del efecto del clima en otros aspectos del territorio (agricultura de gran escala, infraestructura, desastres).
Energía		El clima provee al territorio un potencial energético en el componente hídrico, solar y eólico. La estacionalidad y la variabilidad interanual del clima generan variaciones en dicho potencial.
Hábitat humano		El clima incide en el confort de la población y de los asentamientos humanos. La mayor parte de la población ha adecuado a las condiciones del clima su vivienda, sitios de trabajo y de descanso, su medio urbano.
Salud humana		El clima organiza el área del territorio en la que proliferan ciertas enfermedades; también, a través de la relación que tiene con la fenología de vectores, el clima ordena estacionalmente la incidencia de diversas enfermedades.
Sectores productivos	Agricultura	El área del territorio óptima para un cultivo dado la determina en gran parte el clima (claro, hay otros factores como suelos y pendiente). El ciclo anual de las variables climatológicas (la estacionalidad) incide en la fenología de cada cultivo, las prácticas agrícolas, e igualmente incide en otros aspectos como almacenamiento y distribución de la producción. El clima incide también en la presencia o no de plagas y enfermedades de las plantas.
	Silvicultura	El área óptima para el cultivo de alguna especie forestal también depende de la distribución espacial de los tipos de clima y el ciclo anual de las variables climatológicas incide en la fenología del cultivo. El clima también regula la presencia o no de plagas y enfermedades de las plantas. Las variaciones del clima regulan la frecuencia de los incendios forestales.
	Ganadería (vacuna, porcina, aviar, etc)	El tipo de clima influye en el área territorial dedicada a producción de leche o de carne (clima frío favorece a la producción lechera; el clima cálido – la producción de carne). Tanto el ciclo anual de la precipitación como la variabilidad interanual regulan la disponibilidad de agua y alimento (pastos). El ciclo anual induce también una estacionalidad en los procesos de la actividad ganadera. Las fases extremas de la variabilidad climática favorecen plagas y enfermedades en los animales.
	Pesca	A través del efecto en la disponibilidad de agua, el clima incide en la producción pesquera (sea de río o de granjas acuícolas).
	Energía	Si el territorio explota su potencial energético (hídrico, eólico, fotovoltaico) como sector económico que genera parte de sus ingresos, la estacionalidad del clima y su variabilidad interanual tiene incidencia en la producción de este sector.
	Minería e hidrocarburos	El clima incide en la minería a través de la disponibilidad de agua que se requiere para diversos procesos propios de la actividad.
	Agroindustria	El clima incide en la producción del subsector a través de su efecto en el sector agropecuario. Además, en aspectos como almacenamiento y distribución de la producción.
	Industria	Generalmente el clima, particularmente su variabilidad, incide en aspectos como la demanda y en procesos como la distribución de la producción. Para algunos subsectores la estacionalidad de clima induce en el sector una programación estacional en procesos de producción y distribución.
Nivel terciario		El clima regula la distribución de algunos sitios de atracción turística en el territorio y su estado en el año (por la estacionalidad); también incide en el estado de las vías de acceso a los sitios. El comercio está influenciado por el clima si se comercializan productos agropecuarios; también por la incidencia del clima en las vías para transporte; por la incidencia en almacenamiento/bodegaje. La prestación de servicios públicos como abastecimiento de agua y energía también tienen efecto del clima.
Infraestructura		La distribución espacial de los tipos de clima y su estacionalidad regulan el mantenimiento y reparación de infraestructura vial, de transmisión de energía, oleoductos o gasoductos.
Riesgo de desastre		El clima define la distribución en el territorio de los fenómenos meteorológicos, hidrometeorológicos e hidroclimáticos extremos que causan desastres. La estacionalidad ordena en el año la frecuencia de tales fenómenos; la variabilidad climática interanual también incide en su frecuencia e intensidad.
Cultura		El clima influye de diversa manera en los aspectos culturales del territorio como el desarrollo de prácticas culturales asociadas a siembra o cosecha; también en el estado de los sitios que representan un valor simbólico (religioso, otros); también en el estado de elementos del patrimonio cultural tangible (sitios arqueológicos, bienes de interés cultural) e intangible.
Problemas ambientales		El clima influye en la dinámica de diferentes problemas ambientales, como en los efectos de la deforestación, deterioro de la calidad del agua, del aire y del suelo, entre otros.

Según la Tabla 1, diferentes procesos sobre el territorio se desarrollan en sincronía con los patrones espaciales y estacionales de las variables climatológicas. No obstante, de manera recurrente tales patrones se alteran y presentan desviaciones o anomalías marcadas debido a que el clima fluctúa alrededor de una condición promedio (considerada como “normal”) de un periodo relativamente largo; estas fluctuaciones se conocen como **variabilidad climática** (Figura 6), la cual ocurre por la interacción de los procesos de los diferentes componentes del sistema climático (variaciones en el flujo de la energía solar que ingresa al planeta, procesos oscilatorios propios de la dinámica atmosférica y oceánica, principalmente). Las anomalías climáticas (mayor o menor temperatura media del aire en comparación con lo normal; mayor o menor precipitación comparada con lo normal; mayor o menor frecuencia o intensidad de fenómenos extremos de índole meteorológico) alteran los procesos en el territorio llegando a producir impactos negativos en diferentes aspectos de este. En la Figura 6, la variabilidad climática se representa con la variabilidad interanual de los acumulados anuales de precipitación (ver las oscilaciones de la línea en color gris); las mínimas corresponderían a años con déficit de lluvias y sequías, en tanto que los máximos señalan años con lluvias anormalmente abundantes que generan las inundaciones de gran extensión y larga duración en zonas planas.

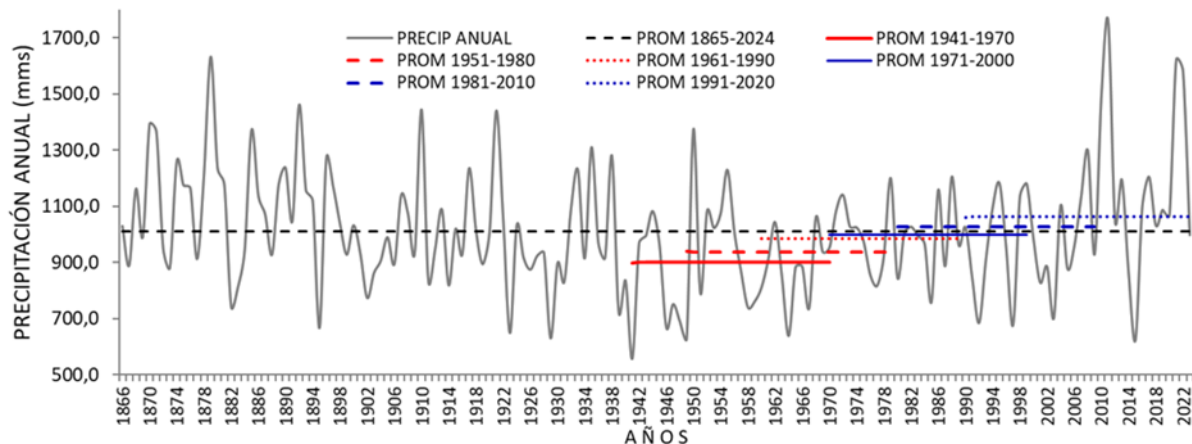


Figura 6. Variabilidad inter-anual de la precipitación anual en la Sabana de Bogotá para el período 1865-2023 y promedios multianuales de 30 años (norma climatológica) desde 1941.

De otra parte, en el largo plazo la condición conocida como normal (usualmente el promedio de las variables climatológicas; el promedio de la frecuencia de los fenómenos meteorológicos o hidroclimáticos extremos) se modifica paulatinamente (en la Figura 7 las líneas horizontales azules y rojas que representan las normales climatológicas en periodos de 30 años desde 1941), fenómeno que se conoce como **cambio climático**. Esta modificación paulatina de los patrones climatológicos tiene su origen en los ciclos de largo plazo en la energía solar que llega a la superficie del planeta,

por modificación en el efecto invernadero de la atmósfera, o por procesos de larga duración en los componentes del sistema climático; en la actualidad estamos asistiendo a un cambio climático generado por la actividad humana, como se mencionó en el punto anterior. Al ser una modificación en los patrones a los cuales están ajustados los procesos del territorio, el cambio climático impacta también todos los aspectos en el territorio, impactos que se hacen evidentes en la medida como se avance a través de los decenios. La magnitud de los impactos dependerá por una parte por la intensidad del fenómeno (en este caso el aumento de la temperatura, los cambios en la precipitación y o los cambios en la frecuencia de los extremos meteorológicos o hidroclimáticos), por otra, de la sensibilidad y de la capacidad que tenga la sociedad o las comunidades dentro del territorio para ir adaptándose a los cambios.

1.1.3 Los impactos del cambio climático en el territorio

El estudio de la relación clima-sociedad se ha realizado con diferentes aproximaciones o enfoques y data de épocas tan remotas como el siglo V antes de la era cristiana, período en el que en la Grecia Antigua Hipócrates y Herodoto (García-González, 2005) plantearon dicha relación para explicar aspectos de la salud física y mental de los individuos y del comportamiento y perfil de los pueblos, aproximación que desembocó en los planteamientos efectuados en el siglo XIX por el “determinismo geográfico” de Ratzel y el “determinismo climático” de Huntington (Delgado, 2007), línea que sobrevalora al extremo el efecto del clima en el desarrollo de la sociedad, dejando a ésta a merced de los ciclos climáticos. Merece destacar que, en el ámbito colombiano a comienzos del siglo XIX, Francisco José de Caldas², tal vez influenciado por el determinismo europeo, atribuyó al clima las diferencias en la regionalización de diferentes aspectos de los seres humanos en el trópico americano, lo cual encontró críticas por otros criollos ilustres de la época (Nieto et al., 2005). Como una respuesta crítica al determinismo se contrapuso en su momento el “posibilismo” (Holt-Jensen, 1999), el cual señala que el ser humano y la sociedad puede transformar las condiciones naturales para habitar el medio y desarrollar sus actividades; en el caso del clima, por ejemplo, este posibilismo se concreta en la transformación de zonas semiáridas o áridas mediante sistemas de irrigación o la modificación de zonas húmedas con sistemas de drenaje, para hacerlas productivas en el agropecuario. Independientemente del discurso epistemológico con el que se aborde la relación sociedad-naturaleza, el clima juega un papel importante en la organización espacial y estacional de procesos físico-bióticos y socioculturales de un territorio, y a través de la historia se encuentran evidencias de como este factor ambiental ha sido elemento propiciador del auge o de la caída de civilizaciones y pueblos (Hodell et al., 1995; Fagan, 2009; Giosan et al., 2012).

² Francisco José de Caldas (1768-1816) en su obra “El influjo del clima en los seres organizados” abordó el tema desde un punto de vista del determinismo climático.

El reconocimiento de que los fenómenos extremos asociados al clima impactan a la sociedad y que el cambio climático que está ocurriendo podría exacerbar tales impactos, así como acentuar la condición de vulnerabilidad, ha llevado a retomar el tema de la relación clima-sociedad para fundamentar mejor las necesarias evaluaciones del impacto de las fases extremas de la variabilidad climática y del cambio climático. Kates (1985) describió los diferentes modelos o aproximaciones al análisis de esta relación clasificándolos “de impacto” y “de interacción” y señalando la importancia de considerar la vulnerabilidad de los sistemas humanos y sus percepciones ante los eventos extremos, contribuyendo así al desarrollo de la teoría del riesgo desde la comprensión de la interacción entre los fenómenos climáticos extremos y del cambio climático en la sociedad. Algunas primeras aproximaciones a una integración de lo social en los estudios de cambio climático se expusieron por Stehr y von Storch (1997). El debate sobre las relaciones clima-sociedad se ha profundizado a la exploración de detalles de esa compleja interacción como lo hace, por ejemplo, el análisis de Meze-Hausken (2007), quien con base en un estudio comparativo de los casos de Etiopía y Noruega, señala la importancia de la capacidad adaptativa y de las percepciones culturales en la interacción; Salick y Byg (2007), por su parte, expusieron las relaciones que el clima, a través de su efecto en la agricultura y la biodiversidad, tiene con los pueblos y las comunidades y señalaron las diferentes formas que estas han desarrollado para adaptarse a condiciones climáticas adversas. De otra parte, Kronik y Verner (2010) describieron las diferentes formas de relación identificadas en comunidades andino-amazónicas (tomando como ejemplo, la Amazonía colombiana) y de Mesoamérica, explorando la vulnerabilidad de estas al cambio climático.

La influencia del clima y el impacto de las fases extremas de la variabilidad climática y del cambio climático también son diferenciados en un territorio en la medida como la relación con el clima es diferente en cada una de las comunidades que lo habitan; así, por ejemplo, Lemos et al. (2011a,b; 2012a), en estudios sobre los posibles impactos del cambio climático en algunas comunidades del Chocó (municipios de Medio Atrato y Medio Baudó) y del Cauca (municipio de Timbiquí), encontraron que, aunque la estacionalidad del clima (de la precipitación mayormente) influye en el desarrollo de las actividades (agricultura, pesca, caza, minería y navegación fluvial), la influencia y los impactos son diferenciados en la medida como la relación clima-sociedad es diferente para los grupos indígenas, para los afro y para los colonos; esta diferenciación tiene sus raíces en varios factores como la ubicación en el territorio (para su alimento, los indígenas, localizados en las partes altas acuden más a la caza, mientras que los grupos afro, localizados en las partes bajas en las riberas de los ríos, se ocupan más en la pesca) o en la diferencia en la percepción que cada grupo tiene sobre el clima (para algunos grupos indígenas colombianos, Ulloa (2011a,b) hace una descripción de las percepciones sobre el clima y sobre las relaciones que han establecido con este). Ulloa (2008) realizó un análisis reflexivo sobre las implicaciones ambientales y culturales del cambio climático para los pueblos indígenas y señala que éstos son más sensibles a los efectos de dicho cambio, principalmente por la estrecha/directa relación que tienen con la naturaleza que los rodea; sin



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



embargo, señala que justamente ese vínculo es el que les permite desarrollar capacidad adaptativa a las condiciones cambiantes del medio natural a través de su conocimiento tradicional. Los efectos del cambio climático para los pueblos indígenas, según Ulloa (2008), se manifiestan principalmente de dos maneras: por las secuelas ambientales específicas en sus territorios y por las implicaciones de los discursos y las políticas globales en las representaciones, condiciones autónomas y espacios de participación indígena en los que no están incluidos. De otra parte, Strauss y Orlove (2009), mediante una compilación de análisis de grupos en diferentes continentes para diferentes épocas, señalan cómo las diversas percepciones sobre el clima y las diferentes formas de relación a la final tienen un peso importante en los impactos que el cambio climático pueda llevar a diferentes comunidades y grupos sociales.

Estudios más recientes sobre la influencia del clima en la sociedad y en el territorio y sobre los posibles impactos económicos y sociales del cambio climático incluyen el análisis diferenciado no solo por grupos étnicos, sino por género (Ulloa, 2011b) y grupos etarios (ver, por ejemplo, Carlton, 2016), fundamentando la necesidad de hacer esta diferenciación debido a la forma distinta de la relación que establecen los grupos sociales específicos con el clima y a la diferencia en la vulnerabilidad de tales grupos; sobre la diferenciación por género de los impactos de fenómenos climáticos y de los posibles impactos del cambio climático se han presentado diversas evidencias (Nagel, 2016) a través del estudio de diversos casos en diferentes países.

El progreso en cuanto a estudios de los impactos de la variabilidad climática y de los posibles impactos del cambio climático ha llevado a que los impactos de las fases extremas de la variabilidad climática se analicen (evalúen) en el marco de la teoría del riesgo de desastre, y los posibles impactos del cambio climático sobre la base de análisis del riesgo por cambio climático (ver, IPCC, 2012, 2014; IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2017; CAR-UNAL, 2018; CAR-UNAL, 2024).

El riesgo (el potencial impacto) por cambio climático se puede representar mediante la expresión de la Figura 7 (una versión que complementa y lleva el esquema de la Figura 3 específicamente al contexto de cambio climático y a la conexión con el territorio).



Figura 7. Representación esquemática de los diversos **componentes** del riesgo por cambio climático y su relación con el territorio.

En el marco de la Figura 7 se considera, de una parte, la acción del fenómeno (el cambio climático: cambio en la temperatura media, en la precipitación media o en la frecuencia de los extremos, por ejemplo) sobre **elementos expuestos** (población, medios de vida, ecosistemas y servicios, acervo económico, social, cultural), interacción que constituye la **amenaza**. De otro lado, la **vulnerabilidad** o la capacidad de las comunidades en el territorio para reducir los impactos negativos, la cual es el resultado de la manera cómo están organizada para superar su grado de **sensibilidad** ante el fenómeno y ajustarse (adaptarse) a nuevas condiciones del clima (**capacidad adaptativa**). Este esquema permite identificar componentes en la construcción del riesgo por cambio climático: el **cambio climático** y la **exposición**, con los que se configura la **amenaza**; **sensibilidad** y **capacidad adaptativa** los que determinan la **vulnerabilidad**. (En el “Glosario”, al final de este documento, se presentan las definiciones de exposición, amenaza, sensibilidad, capacidad adaptativa y riesgo).

I.1.4. Los componentes del riesgo por cambio climático

I.1.4.1. El componente de amenaza

En IPCC (2014) por amenaza se entiende “la potencial ocurrencia de un evento físico natural o inducido por el humano o de una tendencia o impacto físico que puede generar pérdidas de vida, lesiones u otros impactos en la salud, como también daños y pérdidas en la propiedad, la infraestructura, los medios de vida, la provisión de servicios, los ecosistemas y los recursos ambientales”. No obstante, como se anotó a comienzos de este documento, esta definición está sesgada hacia la teoría del riesgo de desastre desde sus orígenes en el IPCC (2012), y por ello, las definiciones deben ser contextualizadas al cambio climático (y, cuando corresponda, al ascenso del nivel medio del mar). El cambio climático es un proceso paulatino o progresivo de modificación de los patrones climáticos, cuyos impactos ocurren de manera progresiva, a diferencia de la acción



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



abrupta de un fenómeno extremo cuyos impactos son marcados e inmediatos. Esta diferencia no es clara, aún dentro de la misma comunidad científica.

Este concepto se amplía en IPCC (2021), donde la amenaza no solo se refiere a la ocurrencia de eventos climáticos, sino también a cómo estos eventos interactúan con los sistemas humanos y naturales, definiéndola como “los eventos climáticos y sus tendencias (como olas de calor, tormentas extremas, sequías) que, en combinación con los sistemas humanos y naturales vulnerables, pueden inducir efectos adversos en los sistemas afectados”. Si bien, en términos genéricos la amenaza se puede definir como la condición en la que un sistema o elemento del sistema puede ser afectado/impactado adversamente por un factor externo, es necesario considerar que en el contexto del cambio climático, en el que el factor externo es la modificación paulatina del patrón climatológico, la definición más adecuada de amenaza del cambio climático es “la condición adversa o negativa que el cambio climático puede generar en un territorio (en alguna de sus dimensiones)”. Un ejemplo de tal condición es que pueda aumentar el área del territorio con una condición climática no deseada, como el aumento del área cubierta por condiciones áridas en el territorio; el aumento de la población del territorio en zona con presencia de malaria debido al aumento del área territorial en que se registra el vector.

El subcomponente “cambio climático”

El fenómeno del cambio climático se representa por la diferencia (en ocasiones denominada “delta”) que se identifiquen entre el clima futuro y el presente (actual; o de un período reciente que sirva de referencia). El clima (tanto el de referencia como el futuro) se representa con las “normales” (promedios de 30 años) de variables como la temperatura media, la humedad relativa, la precipitación mensual, estacional o anual, la frecuencia promedio de los eventos extremos meteorológicos o asociados a los meteorológicos (por ejemplo, tormentas, granizadas, vendavales, crecientes súbitas, inundaciones súbitas, deslizamientos) e hidroclimáticos extremos (inundaciones de larga duración y sequías), que se producen por las fases extremas de la variabilidad climática, se representan por su frecuencia en el período de referencia y en el escenario de clima futuro). Para evaluaciones de cambio climático, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2017) recomienda usar normales climatológicas (periodos de 30 años como 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 1991-2020); la más reciente es 1991-2020. Como período de referencia; para el clima futuro, se han utilizado los períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100 bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 del Sexto Informe de Evaluación (IPCC, 2021).



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Dado que, como se ha señalado al comienzo, el clima determina aspectos del territorio como la distribución espacial de los diferentes tipos de vegetación, la oferta natural de los recursos hídricos, la distribución de cultivos, de especies de plantas y animales, etc, para poder identificar el efecto del cambio climático en cada uno de estos aspectos, es necesario conocer sus distribuciones espaciales tanto en clima presente como en clima futuro, lo que se logra utilizando modelos sencillos para generar con la distribución de las variables climatológicas (principalmente la temperatura media y la precipitación) la distribución espacial de variables o índices que representan tales aspectos del territorio en un período determinado.

Con esta aproximación de modelos sencillo o cálculo de índices para representar la relación clima con aspectos del territorio se plantea incorporar la relación clima- vegetación/ecosistemas (con el modelo de formaciones vegetales de Holdridge), clima-recursos hídricos (con el cálculo de la escurrentía y el índice de aridez), clima-producción agrícola/pecuaria (con área de clima óptimo para determinado cultivo), clima y potencial de energía (eólica, solar, hídrica), clima-salud (área con condiciones climáticas óptimas para la presencia de vectores como malaria y dengue) y clima-riesgo de desastre (por fenómenos como inundación de larga duración y deslizamientos).

En consideración a que el cambio climático tendrá efecto en la variabilidad climática que regula la frecuencia de los fenómenos hidroclimáticos extremo, se requiere tener información acerca de la frecuencia de estos en el clima actual y en el clima futuro. El efecto del cambio climático en la frecuencia de estos fenómenos extremos se identifica mediante la comparación de las frecuencias observadas en los dos períodos (con la resta de la frecuencia futura menos la frecuencia actual).

El subcomponente exposición

Los sistemas humanos y los físico-bióticos de un territorio están expuestos al cambio en el clima. Por ello, cuando se trata del componente **exposición** se incluye la población, los ecosistemas, los recursos hídricos, los cultivos, la infraestructura y otros sistemas, elementos o dimensiones que pueden (son susceptibles) de ser afectados por el cambio climático. El IPCC (2014, 2022) señala que la exposición es “la presencia de gente, sus medios de vida, especies y ecosistemas, funciones ambientales, servicios y recursos, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían ser afectados de manera adversa”. Sobre la base de esta mirada conceptual, la población debe ser considerada como parte de la exposición, al igual que los ecosistemas y los sistemas hídricos que son elementos del medio físico-biótico del territorio que pueden afectarse por el efecto del cambio climático en las diversas dimensiones del territorio. También hace parte de la exposición todo el sistema productivo, es decir los diferentes sectores socioeconómicos.

I.1.4.2 El componente vulnerabilidad

En este marco conceptual y en general en la teoría del riesgo (de desastre; o por cambio climático), la vulnerabilidad sintetiza las condiciones (económicas, de organización social, políticas y culturales) en que se encuentra la sociedad (las comunidades en los territorios (grupos étnicos), los diferentes sectores sociales (diferenciados por género, o por grupos etarios, o por etnias, por ejemplo) y los sectores productivos) para hacer frente a anomalías en el medio en el que se desarrolla. Tales condiciones son diferenciadas entre grupos o sectores sociales y, consecuentemente, los riesgos son diferenciados, particularidad que se debe tener en cuenta a la hora de analizar la vulnerabilidad y el riesgo por cambio climático. Esta aproximación al concepto vulnerabilidad resume los desarrollos de Kelly & Adger (2000), Fussler & Klein (2006), Preston et al., (2011), IPCC (2012, 2014, 2021), Tommoy et al., 2014; Otto et al., (2017) y Thomas et al., (2019).

Según el IPCC (2021), la vulnerabilidad se define como “la propensión o predisposición a ser afectado adversamente”. Esto incluye aspectos como la susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para hacer frente y adaptarse. Esta definición amplía la comprensión de la vulnerabilidad al destacar su carácter multidimensional y dinámico, incorporando elementos como las desigualdades sociales, las estructuras de gobernanza y los niveles de desarrollo socioeconómico, los cuales condicionan la exposición y la sensibilidad de los sistemas y comunidades. Además, resalta que la vulnerabilidad no es un atributo fijo, sino que puede cambiar con el tiempo debido a factores como el desarrollo económico, los cambios en las políticas públicas, la mejora en las infraestructuras o la evolución de los sistemas sociales y naturales. Este dinamismo implica que las evaluaciones de vulnerabilidad deben ser actualizadas y contextualizadas, considerando las condiciones específicas de cada territorio y comunidad.

En el contexto del riesgo por cambio climático la vulnerabilidad se conforma por la contraposición entre la sensibilidad y la capacidad adaptativa. Una revisión de publicaciones permitió establecer que en la práctica de la evaluación de la vulnerabilidad, en algunas aproximaciones se restan estas categorías (a la sensibilidad se resta la capacidad adaptativa) dado que, por sentido común y por lógica matemática, una contraposición implica una diferencia; otras, dividen la sensibilidad entre la capacidad adaptativa, operación que indica que la sensibilidad se fragmenta en tantas partes como lo permita la capacidad de adaptación (en la TCNCC se utilizó esta última).

Subcomponente de sensibilidad

La sensibilidad es el grado de susceptibilidad (o grado de tolerancia) de un sistema (sistema humano, ecosistema, territorio) o elemento del sistema (por ejemplo, dimensión del territorio) ante la modificación que en el medio le genera el cambio climático. Es la característica del sistema o elemento del sistema que hace que el impacto sea mayor (alta sensibilidad) o menor (baja sensibilidad). En el marco conceptual del IPCC (2012, 2014 y 2021), aunque se menciona como parte

de la vulnerabilidad, no se ofrece una definición explícita ni define esta categoría. Este componente de la vulnerabilidad está dado por algunas condiciones físico bióticas del territorio, por la forma de interacción de las comunidades con la naturaleza y por prácticas culturales establecidas en esta relación.

Subcomponente capacidad adaptativa

La capacidad adaptativa es la condición y potencial que tiene el territorio para ajustarse a las nuevas condiciones climáticas; en otras palabras, la capacidad adaptativa es la aptitud o facultad del territorio para acondicionarse al clima cambiante mediante el control/tratamiento/corrección de la sensibilidad de la dimensión respectiva. El IPCC (2014) define capacidad adaptativa como “la habilidad de los sistemas, instituciones, humanos y otras organizaciones de ajustarse a posibles daños, tomar ventaja de las oportunidades o responder a las consecuencias” del cambio climático. En el IPCC (2022), este concepto se amplía para resaltar que la capacidad adaptativa está condicionada por factores sociales, económicos, institucionales, tecnológicos y culturales. En este contexto, la capacidad adaptativa varía significativamente entre regiones, sectores y comunidades, definiéndola como “El conjunto de fortalezas, atributos y recursos disponibles para un individuo, comunidad, sociedad o sistema para anticipar, prepararse y responder efectivamente al cambio climático y recuperarse después de sus impactos”.

1.1.4.3 El riesgo por cambio climático

El IPCC (2014) define el riesgo como “el potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o naturales, derivadas de interacciones entre amenazas climáticas (eventos o tendencias) y la vulnerabilidad y exposición de los sistemas afectados”. Esta definición destaca que las interacciones entre los tres componentes principales (amenaza, exposición y vulnerabilidad) determinan el nivel de riesgo. En el IPCC (2021), el concepto de riesgo se amplía, definiéndolo como “los impactos potenciales de eventos o tendencias climáticas (amenazas) que surgen de la interacción entre la vulnerabilidad, la exposición y la probabilidad de la ocurrencia de dichos eventos”. En este informe, se resalta la importancia de las desigualdades sociales, la justicia climática y las interacciones complejas entre los sistemas naturales y humanos. Además, el IPCC (2021) introduce el concepto de riesgo compuesto, que surge cuando múltiples amenazas interactúan simultáneamente, lo que añade una dimensión más compleja al análisis del riesgo.

Aunque se puede observar que existe una transición de un enfoque más lineal (IPCC, 2014) a un enfoque más sistémico y dinámico (IPCC, 2021), ambos enfoques coinciden en que la interacción

entre amenaza, exposición y vulnerabilidad son componentes del riesgo. Sin embargo, tanto el IPCC 2014 como el 2021 carecen de una operacionalización de la interacción entre estos componentes.

Dado el contexto anterior y para efectos del presente marco conceptual, el riesgo por cambio climático, en términos generales, es el potencial impacto del cambio climático en diferentes dimensiones del territorio, mirado en términos cualitativos. La estimación del riesgo por cambio climático implica operar la amenaza y la vulnerabilidad. Es ampliamente utilizada la aproximación en la que las dos categorías se multiplican.

I.1.5 Las dimensiones del territorio para el análisis del riesgo por cambio climático

El análisis de los riesgos por cambio climático debe considerar los aspectos del territorio que se señalan en la Tabla 1, en los que se incluyen los atinentes a la parte productiva (sectores económicos), riesgo de desastre y patrimonio cultural. La TCNCC (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2017) consideró los siguientes que denominó dimensiones: Biodiversidad y Servicio Ecosistémicos, Recursos Hídricos, Seguridad Alimentaria, Hábitat Humano, Salud e Infraestructura.

Siguiendo el esquema conceptual de las Figura 5, 7 y la Tabla 1, en la que se señalan los diversos aspectos del territorio en los que incide el clima, se señala la dimensión cultural, toda vez que hay elementos culturales tangibles e intangibles que están expuestos a los cambios que genera en el medio el cambio climático, por lo que habrá impactos en este aspecto del territorio. En este punto se debe señalar que por cultura se entiende lo expresado en el Diagnóstico del Desarrollo Cultural de Colombia, que tiene como referencia el concepto propuesto por el Sistema de Naciones Unidas, que recoge la Ley 397 de 1997 (Ley General de Cultura), en donde se expresa que la cultura es el conjunto de rasgos distintivos, espirituales, materiales, intelectuales y emocionales, que permiten caracterizar grupos humanos y es fundamento de la nacionalidad y la identidad. Desde dicho concepto, se proponen unos ámbitos de alcance de la cultura: Artes y letras, Modos de vida, Derechos humanos, Sistemas de valores, tradiciones y creencias. De igual modo, atendiendo la recomendación de la Unesco en relación con que “si bien no siempre es posible medir estas creencias y valores en forma directa, sí lo es medir las prácticas y comportamientos asociados con ellos”. En consecuencia, se hace énfasis en la identificación y medición de los comportamientos y las prácticas producto de las creencias y los valores de una sociedad o grupo social (Unesco, 2009).

Es necesario mencionar que en la TCNCC ya se consideraron algunos indicadores culturales, incorporados en diferentes dimensiones según la pertinencia. No obstante, en el análisis de los diferentes aspectos del territorio y su relación con el clima y el cambio climático, el cultural se destaca dado que hay elementos tangibles expuestos (los bienes de interés cultural, p.e.) y pueden ser impactados. En razón a esto, se propuso tomar como una dimensión el aspecto relativo a la



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



cultura en cuanto se refiere al patrimonio tangible e intangible que está presente en el territorio; esto no sería impedimento para el uso de algunos indicadores relativos al aspecto cultural, si se requieren para estimar indicadores en otras dimensiones del territorio.

El fundamento para definir cada una de las dimensiones del territorio en el análisis de los riesgos por cambio climático, es el siguiente:

Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos: Los ecosistemas y la diversidad biológica que estos albergan son un elemento esencial en el funcionamiento de los territorios, toda vez que ofrecen una serie de servicios (de provisión de uso, etc.) a la población asentada. En la medida como el cambio climático incidirá tanto en la distribución espacial de ecosistemas como en los procesos que los mantienen, este aspecto del territorio requiere ser observado de manera especial en los estudios de impacto del cambio climático en el territorio y por ende, en la estimación de los riesgos territoriales asociados.

Recursos hídricos: En la mayor parte de las actividades que se desarrollan en el territorio el agua es fundamental, y el cambio climático incide en el balance hídrico que mantiene una oferta natural de agua, y a través de ello impactará considerablemente a la población y a su producción en diferentes formas. Esto fundamenta el hecho de sea tratado el tema de manera especial como una dimensión del territorio.

Energía: Hace referencia al potencial energético con el que cuenta el territorio, incluido la hidroenergía, energía eólica y energía fotovoltaica, junto a las demás posibilidades de tener una autonomía en este aspecto. El clima juega un papel importante en la disponibilidad, demanda y el aprovechamiento económico de estos recursos, dado que el clima provee al territorio un potencial energético en el componente hídrico, solar y eólico. La estacionalidad y la variabilidad interanual del clima generan variaciones en dicho potencial, toda vez que puede modificar la demanda y la calidad de la oferta de productos y servicios energéticos. Además, si el territorio explota su potencial energético (hídrico, eólico, fotovoltaico) como sector económico que genera parte de sus ingresos, la estacionalidad del clima y su variabilidad interanual tiene incidencia en la producción de este sector.

Seguridad Alimentaria y Producción Agropecuaria El concepto incluye “la disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de los mismos en calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa” (CONPES 113). El cambio climático incide en la producción agrícola y pecuaria y con ello directamente en uno de los elementos de la seguridad alimentaria: la disponibilidad. También incidirá indirectamente en otros componentes de la seguridad alimentaria. Por ello, en el análisis de

los impactos por cambio climático en el territorio, este aspecto debe ser tratado de manera especial. Dado que en el territorio ocurre en la producción del alimento en la modalidad de garantía de la subsistencia y como sector económico (agrícola y pecuario), en este documento se denominará, al igual que en la TCNCC como “Seguridad Alimentaria y Producción Agropecuaria”.

Hábitat humano: Hace referencia a las condiciones (ambientales e institucionales) del espacio construido en el que vive el ser humano, en la mayoría de los casos se relaciona con la vivienda de la población y los asentamientos humanos. El cambio climático incide directamente en el componente ambiental ya sea influyendo en las condiciones de confort de ese espacio o mediante el efecto de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos sobre el mismo. Siendo un aspecto importante del territorio que tendrá impactos del cambio climático, requiere un análisis especial de los riesgos asociados al cambio climático.

Salud humana: Los patrones epidemiológicos (espaciales y estacionales) de un territorio, particularmente los asociados a enfermedades transmitidas por vectores, están relacionados con el clima, por lo que el cambio climático modificará tales patrones, lo que generará una diversidad de impactos en el aspecto de la salud pública que tendrán incidencia en otros procesos que ocurren en el territorio. Por ello, es necesario tener una mirada especial a los riesgos en este componente importante del bienestar de la población.

Infraestructura: Esta dimensión se refiere a los elementos que soportan el sistema socio-económico y el funcionamiento del territorio como la red vial terrestre, fluvial (puertos fluviales) y marítima (puertos marítimos), aeropuertos, oleoductos, gasoductos, redes de servicios (energía, comunicaciones, etc), en fin, los elementos que permiten el desarrollo de actividades, la movilidad de la población, el intercambio de productos y la prestación de servicios esenciales. En la medida que la infraestructura es influenciada por el clima, está expuesta en el territorio al cambio climático que la impactará de diversa forma, por lo que se hace necesario disponer de una mirada a los riesgos correspondientes.

Riesgo de desastre: En un territorio dado ocurren fenómenos extremos que, al coincidir con determinadas condiciones sociales, económicas o ambientales, pueden generar desastres. El concepto “desastre” lleva implícito su naturaleza socio-ambiental toda vez que es el resultado de momento crítico en la relación sociedad-naturaleza. De ahí que se señale que los desastres no son naturales (Wilches-Chaux, 1993; Maskrey, 1993; Lavell, 1996; Cardona, 2011) y que la expresión “desastre natural” sea incorrecta; otra cosa es que los fenómenos naturales extremos en un medio socio-ambiental determinado puedan generar desastres (es decir, desastres generados por fenómenos naturales; hay desastres generados en

accidentes tecnológicos, por procesos antrópicos, etc). En general, los desastres, independientemente de su origen y de su carácter socio-ambiental, alteran el desarrollo de los territorios e inciden negativamente en el bienestar de las comunidades asentadas en él. Por ello, en el análisis o estudio del territorio, un capítulo central debe ser el análisis de los desastres. En la actualidad los desastres se analizan en el marco de la teoría del riesgo de desastre (Cardona, 2011). Según la Ley 1523 de 2012, un desastre “es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción”. Independientemente de su origen (fenómeno extremo natural, socio-ambiental, tecnológico y otros que señalan diferentes clasificaciones), los desastres son una realidad del territorio que incide de manera determinante en el desarrollo del mismo, por lo cual deben ser considerados en los estudios territoriales. Parte de esa realidad consiste en que la coincidencia de algunos fenómenos naturales extremos con determinadas condiciones ambientales y socio-económicas, genere impactos considerados desastres.

Una gran parte de los desastres generados por fenómenos naturales extremos o por condiciones socio-ambientales creadas en la interacción sociedad-naturaleza, están relacionados con fenómenos hidrometeorológicos e hidroclimatológicos extremos. La distribución espacial y la estacionalidad de estos fenómenos están relacionadas con el clima y que genera un patrón de amenaza y, a través de ello, del riesgo de desastre del territorio. El cambio climático modificará los patrones espaciales y estacionales de tales fenómenos extremos y con ello modificará las amenazas asociadas, lo que, consecuentemente, traerá un cambio en el riesgo de desastre que un territorio tiene estimado para un clima determinado (por ejemplo, el clima en el período 1971-2000 o en el 1976-2005). Esta es la razón por la que en estudios del impacto del cambio climático en el territorio debe considerarse la modificación que este produce en el riesgo de desastre. Un riesgo por el cambio climático en el territorio es el asociado a la modificación de su(s) riesgo(s) de desastre. Esta relación indica la necesidad de considerar la dimensión del riesgo de desastre en los estudios de impacto del cambio climático y en la evaluación de los riesgos.

Patrimonio cultural: El patrimonio cultural de las comunidades, representado en elementos tangibles e intangibles, es importante en la definición de su identidad, en la estructura económica (fuente de recursos a través del turismo, por ejemplo) y, en general, en el

funcionamiento y desarrollo de un territorio. Por esta razón, este aspecto del territorio se debe tomar como una dimensión a ser considerada en los análisis sobre los riesgos por cambio climático.

El patrimonio cultural, según la Ley de patrimonio y el diagnóstico de Mincultura sobre el sector cultural, está constituido por todos los bienes materiales, las manifestaciones inmateriales, los productos y las representaciones de la cultura que son expresión de la nacionalidad colombiana, tales como la lengua castellana, las lenguas y dialectos de las comunidades indígenas, negras y creoles, la tradición, el conocimiento ancestral, el paisaje cultural, las costumbres y los hábitos, así como los bienes materiales de naturaleza mueble e inmueble a los que se les atribuye, entre otros, especial interés histórico, artístico, científico, estético o simbólico en ámbitos como el plástico, arquitectónico, urbano, arqueológico, lingüístico, sonoro, musical, audiovisual, fílmico, testimonial, documental, literario, bibliográfico, museológico o antropológico”.

El patrimonio cultural se clasifica en inmaterial y material.

El **patrimonio cultural inmaterial** está constituido, entre otros, por las manifestaciones, prácticas, usos, representaciones, expresiones, conocimientos, técnicas y espacios culturales, que las comunidades y los grupos reconocen como parte integrante de su patrimonio cultural. Este patrimonio genera sentimientos de identidad y establece vínculos con la memoria colectiva. Es transmitido y recreado a lo largo del tiempo en función de su entorno, su interacción con la naturaleza y su historia y contribuye a promover el respeto de la diversidad cultural y la creatividad humana. Las manifestaciones del patrimonio cultural inmaterial podrán ser incluidas en la Lista Representativa de Patrimonio Cultural Inmaterial. En la página del Mincultura se encuentra la lista o registros.

El **patrimonio cultural material** agrupa dos grandes áreas, la inmueble y la mueble, se caracteriza por tener un cuerpo físico que puede ser dimensionado y percibido sensorialmente. Está constituido por el territorio geográfico con sus recursos ambientales y naturales como hábitat humano; los hechos construidos, las manifestaciones físicas de la estructura productora y de los procesos de poblamiento; los sistemas de transporte y las obras de infraestructura, como vías, caminos y puentes, entre otros. El **patrimonio cultural inmueble** se caracteriza por estar fijo a la tierra, tal como ocurre con las edificaciones, los conjuntos arquitectónicos, los asentamientos urbanos, las obras de ingeniería, los parques arqueológicos y las obras de adecuación del territorio para fines de explotación, producción o recreación (por ejemplo, los sitios arqueológicos, arquitectura, espacios públicos, centros históricos, sectores urbanos, sitios históricos, paisajes culturales). El **patrimonio cultural**



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



mueble es aquel susceptible a ser trasladado de un sitio a otro; se conforma de los bienes que las comunidades, los grupos sociales y las instituciones públicas o privadas reconocen como parte de la memoria e identidad, toda vez que atribuyen, entre otras, valores colectivos, históricos, estéticos y simbólicos que suscitan intereses particulares en la población (por ejemplo, monumentos, esculturas y obras de arte).

I.2 Aspectos metodológicos de la evaluación del riesgo territorial por cambio climático

El marco conceptual del riesgo por cambio climático (Figura 7) se sintetiza en la expresión de relación clima-sociedad

$$R_{cc} \approx Am_{cc} (CC*Exp) * Vuln (s-CA) \quad (1)$$

Esta se operacionaliza de la siguiente manera: el clima se representa con los promedios multianuales de temperatura media anual del aire y de la precipitación anual para diferentes períodos (histórico de referencia 1991-2020; futuros, por ejemplo, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100), diferentes escenarios climáticos (como los SSP2-4.5 y SSP3-7.0 publicados en el Sexto Informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático; ver IPCC, 2021). El cambio climático se estima mediante la diferencia entre el clima del período futuro de un escenario dado y el período de referencia.

Para identificar el efecto del cambio climático en los elementos expuestos (las dimensiones territoriales señaladas en el capítulo anterior) se elaboraron modelos simples de relación clima-dimensión territorial sobre la base de lo observado en 1991-2020; por ejemplo, en ecosistemas se usa el modelo de Holdridge; en recurso hídrico la escorrentía a partir de la cual se establecen los rendimientos de las subcuencas; en riesgo de desastre, se construyen y validan modelos de susceptibilidad a incendios de vegetación (basados en formación vegetal e índice de aridez), a deslizamientos (considerando pendiente, formación vegetal, escorrentía, índice de aridez), hábitat humano (confort climático e índice de aridez), salud humana (modelos de nicho determinantes de la probabilidad de presencia de vectores), potencial agropecuario (modelos de relación clima-cultivos mediante el uso de umbrales de temperatura media y precipitación para identificar condiciones óptimas, favorables y no aptas); infraestructura vial (trayectos de carreteras en áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones). Con estos modelos, se estima el estado de la dimensión correspondiente en clima futuro (usando la información de temperatura del aire y precipitación de los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 en los períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100) y mediante la diferencia entre la situación futura y la del clima de referencia, dividida en la situación del clima de referencia, se estimó el efecto del cambio climático en las diferentes dimensiones. Con esto, la amenaza se estimó considerando los efectos adversos (valores negativos de la diferencia estimada entre la situación futura y la referencia) y categorizándolos por quintiles en muy baja, baja, media/moderada, alta y muy alta.



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



La evaluación de la vulnerabilidad territorial se efectúa estimando los subcomponentes sensibilidad y capacidad adaptativa utilizando una serie de variables.

I.2.1. Aspectos metodológicos para la identificación de la amenaza asociada al cambio climático para las dimensiones de las cuencas hidrográficas o de los territorios

La amenaza es la posible afectación adversa/negativa que el cambio climático causaría a determinado aspecto/dimensión de la cuenca o territorio. La evaluación de la amenaza requiere de la valoración del cambio climático y de la exposición (según Figura 7 y la expresión 1). A continuación, se presenta en detalle el procedimiento para disponer de la información requerida.

I.2.2. La estimación del cambio climático

La valoración cuantitativa del cambio climático implica la comparación entre dos estados: clima de referencia (clima presente) y clima futuro. En los dos casos el clima se representará con los promedios multianuales de temperatura media anual (T) y de precipitación anual (Pr). El cambio se determina mediante la diferencia entre clima futuro (fut) y clima de referencia (ref):

$$\Delta T = T_{\text{fut}} - T_{\text{ref}} \quad (2) \quad \Delta Pr = [100 * (Pr_{\text{fut}} - Pr_{\text{ref}}) / Pr_{\text{ref}}] \quad (3)$$

ΔT – cambio en la temperatura media anual del aire en °C; T_{fut} temperatura media anual del futuro; T_{ref} temperatura media anual del período de referencia. ΔPr – cambio de la precipitación en porcentaje en relación con el volumen anual de precipitación del período de referencia (Pr_{ref}); Pr_{fut} precipitación anual del período futuro. En el caso de la temperatura se toman también los promedios de las máximas y los promedios de las mínimas, con las que se hará igual comparación entre dos períodos.

Análisis del clima de referencia

Para el clima de referencia o clima actual se toma el del período 1991-2020 del conjunto de datos generados por el grupo de investigación “*Tiempo, clima y sociedad*” en el *Laboratorio de*



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Geomodelamiento del Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia. Este conjunto de datos ha sido generado mediante modelación numérica en alta resolución espacial (grilla de 5x5 kilómetros) utilizando el modelo WRF (Weather Research and Forecasting), tomando como condiciones iniciales y de frontera los datos de la quinta generación de reanálisis de variables atmosféricas del Centro Europeo (ECMWF), conocido como ERA5 (en adelante este conjunto de datos se denominará ERA5-WRF-GITCS-5x5). La cuadrícula de este conjunto de datos para la cuenca del río Bogotá se muestra en la Figura 3; esta comprende 277 puntos con series de datos de las variables mencionadas.

El conjunto de datos ERA5-WRF-GITCS-5x5 se validó con las series de datos de temperatura mensual del aire y de precipitación mensual registrados en estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca del río Bogotá y pertenecientes a la red de la CAR, del IDEAM y de la EAAB. Para el efecto, las series de cada punto (o pixel) de ERA5-WRF-GITCS-5x5 se compara con las series de observaciones de las estaciones, se identifican diferencias y se efectúa el ajuste correspondiente a los datos ERA5-WRF-GITCS-5x5, para generar la versión ajustada ERA5-WRF-GITCS-5x5-aj, la cual servirá de base de representación del clima de referencia.

Análisis del clima futuro

Para obtener información sobre el posible clima futuro se acudió a la información generada por la sexta versión del *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP6) que produjo información de clima futuro (diferentes períodos del siglo XXI) bajo los diferentes escenarios de cambio climático utilizados para el Sexto Reporte (AR6) de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. El IPCC (2021) planteó las Trayectorias (o Rutas) Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomics Pathways - **SSP**), las cuales describe Escoto-Castillo et al., (2017). Se dispone de cinco SSPs (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4, SSP5) dentro de los cuales se consideran variantes de la anterior generación de escenarios (Representative Concentration Pathways: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 Y RCP8.5) como lo muestra la Figura 8, izquierda. Estos escenarios SSP, con alguna variante de los RCPs, se están usando en los estudios sobre los posibles impactos que el cambio climático podría traer a diferentes regiones del mundo en diversos períodos del siglo XXI.

Para efectos de la elaboración de escenarios de cambio climático para Colombia en este ejercicio, se toma la información obtenida del ensamble de cuatro modelos del CMIP6 (CMCC-ESM2, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR y MRI-ESM2-0) generada para los escenarios SSP2 4.5 y SSP3 7.0. Los modelos mencionados resultaron seleccionados a partir de un proceso de revisión del cumplimiento

de dos criterios clave: un ECS³ dentro del umbral de 2.5 - 4.0°C y un TCR⁴ dentro del umbral de 1.4 - 2.2°C. Estos criterios, en términos generales, indican que los modelos climáticos globales que los cumplan no están haciendo una sobre o sub estimación poco plausible del aumento de la temperatura que podría tener el planeta a lo largo del siglo XXI, y con lo cual las proyecciones de éstos serían más probables de darse.

La información del ensamble para el período 1991-2020 se valida las normales climatológicas oficiales del IDEAM⁵ del periodo 1991-2020, y las estimadas para puntos adicionales. En este proceso de validación se encuentran diferencias que orientan sobre la posibilidad de ajuste de la representación del clima obtenido en el ensamble al clima observado.

El método mediante el que se determinan los coeficientes ajuste es el de corrección de sesgo Pabón, 2011; Walsh, 2011; Wals & Taylor, 2012), que consiste en lo siguiente:

$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{\text{mod}} \quad (4)$$

Donde $X_{i,j}^*$ es el valor ajustado de la variable X del año i-ésimo y del mes j-ésimo; $X_{i,j}^{\text{mod}}$ es el valor simulado de la variable X del año i-ésimo y del mes j-ésimo, y α_j es el factor de ajuste para el mes j-ésimo, el cual se calcula como:

$$\alpha_j = \frac{\overline{X_j^{\text{obs}}}}{\overline{X_j^{\text{mod}}}} \quad (5)$$

Siendo $\overline{X_j^{\text{obs}}}$: Promedio multianual de la serie de datos observados para el mes j-ésimo; y $\overline{X_j^{\text{mod}}}$: Promedio multianual de la serie de datos generados con los modelos globales (Tabla 1) para el mes j-ésimo.

1.2.3 Representación de la exposición

³ ECS (*Equilibrium climate sensitivity*): Es el incremento de la temperatura del aire (equilibrio global de la temperatura media del aire cerca de la superficie) en el largo plazo como respuesta a una duplicación del CO₂ atmosférico (IPCC, 2021).

⁴ TCR (*Transient climate response*): El cambio en la temperatura media global del aire cerca de la superficie, promediada para un período de 20 años, centrada en el tiempo de la duplicación del CO₂ atmosférico, en una simulación con modelo climático en la que las concentraciones de CO₂ atmosférico se incrementan 1% cada año (IPCC, 2021).

⁵ Disponibles en <http://archivo.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

Los elementos expuestos que son susceptibles de ser afectados por el cambio climático son las diferentes dimensiones de la cuenca o del territorio (municipio). La representación de la exposición se hace acorde con los indicadores señalados en la Tabla 2.

Tabla 2. *Elementos/dimensiones del territorio expuestas al efecto del cambio climático.*

DIMENSIONES DE LA CUENCA/TERRITORIO EXPUESTAS	¿CÓMO SE REPRESENTA?
Ecosistemas y servicios ecosistémicos	% de área municipio ocupado por determinada formación vegetal (bioma), en el clima de referencia
Recursos hídricos	Escorrentía media anual en el clima de referencia Rendimientos hídricos de las cuencas en el clima de referencia
Energía	Potencial hidroenergético, eólico y fotovoltaico
Seguridad alimentaria y producción agropecuaria	% de área municipio ocupada por diversos tipos de cultivos de importancia comercial y abastecimiento local
Riesgo de desastre	% de área municipio con presencia de deslizamientos, inundaciones de larga duración e incendios de cobertura vegetal en el clima de referencia
Salud humana	% de área municipio con presencia de vectores de enfermedades tropicales (dengue, malaria) en el clima de referencia
Hábitat humano	% de área municipio con la condición “óptima” de confort climático en el clima de referencia [Población bajo la condición “óptima” de confort climático en el clima de referencia]
Infraestructura	% de la red vial terrestre (kilómetros de carreteras hasta tercer orden) municipio bajo el efecto de eventos de inundación de larga duración y de remoción en masa en el período del clima de referencia

Los indicadores que representan la exposición al cambio climático se estiman de tal manera que consideran la influencia del clima (temperatura media anual y precipitación anual) en cada aspecto de la cuenca. Por ejemplo, los biomas se representarán con las formaciones vegetales de Holdridge, equivalentes a la vegetación potencialmente favorecida por el clima, las que se estiman con la temperatura media anual, la precipitación anual y la evapotranspiración.

A continuación, se ilustra una aproximación a la estimación de la amenaza, tomando como ejemplo los aspectos de formaciones vegetales y los rendimientos hídricos de las subcuencas.

En dimensión biótica, representada por las formaciones vegetales de Holdridge, se considera la reducción del área que cubre determinado tipo de formación, al comparar lo que ocuparía en el escenario futuro comparado con el clima de referencia (o clima presente), según la expresión:

$$\Delta \%Ar_{fv,i} = \frac{(\%Ar_{fv,i}^{[2081-2100]} - \%Ar_{fv,i}^{[1991-2020]})}{(\%Ar_{fv,i}^{[1991-2020]} + 0,001)} \quad (6)$$

Donde $\%Ar_{fv,i}$ - Porcentaje de área que ocupa una formación vegetal i en la subcuenca en el clima futuro ($\%Ar_{fv,i}^{[2081-2100]}$) y en el clima de referencia ($\%Ar_{fv,i}^{[1991-2020]}$); la parte izquierda de la expresión $\Delta \%Ar_{fv,i}$ - cambio en el porcentaje de área calculado como la diferencia de lo que ocuparía en el clima futuro y el clima de referencia. (En el denominador se suma 0,1 para el caso en que haya valores cero en $\%Ar_{fv,i}^{[1991-2020]}$).

Los valores negativos de $\Delta \%Ar_{fv,i}$ serían los que se consideran amenaza que se categoriza acorde con el rango de valores de este cambio; si el resultado de la diferencia es cero o positivo, no se considera amenaza.

La amenaza que el cambio climático configura sobre para los recursos hídricos en el largo plazo para las sub-cuencas se presenta a través del cambio relativo de los rendimientos, el que se calcula mediante la expresión:

$$\Delta Rend_i = \frac{(Rend_i^{[2081-2100]} - Rend_i^{[1971-2000]})}{(Rend_i^{[1971-2000]})} \quad (7)$$

Donde: $\Delta Rend_i$ – Cambio relativo en los rendimientos hídricos de una cuenca i ; $Rend_i^{[2081-2100]}$ – Rendimientos futuros (para el ejemplo se toma los observado en el 2081-2100 bajo el escenario SSP2 4.5); $Rend_i^{[1971-2000]}$ – Rendimientos observados en la cuenca a finales del siglo XX.

I.3. Metodología de análisis de la vulnerabilidad territorial ante el cambio climático

Como ya se señaló en el marco conceptual, la vulnerabilidad ante el cambio climático tiene dos componentes que se contrarrestan: la sensibilidad y la capacidad adaptativa. En el caso de las cuencas, para la valoración de cada uno de estos componentes de la vulnerabilidad se requiere conocer determinadas características de estas que los evidencien: para la sensibilidad las características que hace que el efecto del cambio climático se perciba en mayor o menor grado; para la capacidad adaptativa, las características que muestran su condición o habilidad para ajustarse al clima cambiante.

La Tabla 3, en la primera columna, contando de izquierda a derecha, se presenta una lista de características de la cuenca que pueden modular (acentuar o suavizar) el efecto del cambio climático sobre los diferentes aspectos del funcionamiento de la misma; en la columna final de la derecha, se señalan para cada característica los indicadores que se toman para evaluar la sensibilidad de la cuenca. La Tabla 4 indica las características y los indicadores correspondientes con los que se calcula la capacidad adaptativa de la cuenca. En las tablas 5 y 6, por su parte, se describe el procedimiento a seguir para obtener los valores de los indicadores de sensibilidad y de capacidad adaptativa, respectivamente; se señala el tipo de información que se requiere como base para producir el valor de cada indicador, la fuente de esta información y el procedimiento de cálculo.

Tabla 3. Características de la cuenca que permiten valorar la sensibilidad al cambio climático y propuesta del indicador correspondiente

CARÁCTERÍSTICA DE LA CUENCA	¿POR QUÉ ES DE SENSIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?	NOMBRE DE LA VARIABLE	INDICE/INDICADOR DE SENSIBILIDAD
Cobertura natural	La cobertura natural como regulador del clima y del ciclo hidrológico modula el efecto del cambio en el clima en diferentes aspectos de la cuenca. A mayor cobertura menor sensibilidad.	Área (hectáreas) de la cobertura boscosa	Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa
Dinámica de la cobertura natural	El ritmo de cambio (disminución o aumento) de la cobertura natural varía (aumenta o disminuye) la sensibilidad	Cambio de área con bosque natural en un período de tiempo (hectáreas/unidad de tiempo)	Tasa de deforestación
Estado de los ecosistemas	El área boscosa de una cuenca generalmente no está en una extensión homogénea, sino que se presenta fragmentada, por parches. A mayor fragmentación mayor sensibilidad	Número de parches y tamaño medio del parche	Índice de proximidad de parches
Estado de los humedales	Los humedales actúan como un depósito y regulador del ciclo hidrológico y de procesos ecológicos. La transformación de los mismos lleva a la alteración de la función señalada, de tal manera que una alta transformación hace a la cuenca o territorio más sensible	Humedales transformados	Porcentaje (%) de humedales
Características del suelo	La capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo es una de las propiedades con las que este participa en el ciclo hidrológico constituyéndose en depósito o regulador del flujo de agua. De esta manera	Humedad del suelo	Índice de humedad aprovechable

Intensidad de uso de recurso directamente relacionado con el clima	la alta capacidad señala una baja sensibilidad; baja capacidad, alta sensibilidad La dependencia de un recurso directamente relacionado con el clima (hídrico, por ejemplo) para el funcionamiento de los procesos del territorio/cuenca hace a este más o menos sensible al cambio climático. Alta dependencia implica una alta sensibilidad.	Uso del agua	Índice de uso del agua
Dependencia de la economía territorial del sector agropecuario	En territorios/cuencas en donde la actividad socioeconómica prevalente es agropecuaria, muy dependiente del clima, características de este sector marca la sensibilidad del territorio. Por ello, gran área hace al territorio/cuenca más sensible al cambio climático	Área con producción agrícola y pecuaria	% de área de la cuenca dedicada a la producción agrícola y pecuaria
Desarrollo de actividad agropecuaria solo con agua lluvia para (no uso de riego, ni de reservorios)	La dependencia del comportamiento de las lluvias hace al territorio/cuenca sensible al cambio climático.	Dependencia de agua lluvia	Porcentaje de UPAs que depende únicamente de agua lluvia para sus actividades
Cubrimiento de necesidades de agua para la actividad agropecuarias	Entre más unidades productivas agropecuarias (UPAs) con dificultades, más sensible al cambio climático	Limitación de disponibilidad de agua para actividades agropecuarias por contaminación Limitación de disponibilidad del recurso hídrico para las actividades agropecuarias por escasez	% de UPAs con dificultades en el uso del agua para actividades agropecuarias por contaminación % de UPA con dificultades en el uso del agua para actividades agropecuarias por escasez

Tabla 4. Características municipio que permiten evaluar la capacidad adaptativa al cambio climático

CARÁCTERÍSTICA	¿POR QUÉ ES DE CAPACIDAD ADAPTATIVA AL CAMBIO CLIMÁTICO?	NOMBRE DE LA VARIABLE	INDICE/INDICADOR DE CAPACIDAD ADAPTATIVA
Organización de la comunidad en cuanto a su asociatividad (cooperativas, asociaciones gremiales, campesinas, de mujeres, consejos, juntas de acción comunal)	La asociatividad fortalece (en recursos humanos, financieros, tecnológicos) a la comunidad para hacer frente a los impactos del cambio climático	Asociatividad	Índice de asociatividad
El uso del agua en la agricultura	Las prácticas de uso racional (controlado) de agua en la agricultura fortalece a las comunidades frente al cambio climático	Protección de agua	Porcentaje de UPA que NO realizan prácticas de protección del agua en las actividades agropecuarias
Reservas (naturales y artificiales) de agua en la cuenca	La disponibilidad de elementos de reserva de agua dentro de la cuenca permite sobrellevar situaciones extremas en la oferta natural.	Reservas de agua	Porcentaje de UPA que utilizan pozos, aljibes, reservorios, estanque o jagüey para actividades agropecuarias
Normatividad para el uso de recurso hídrico	La normatividad introduce elementos de racionalización en el uso del agua disponible en la cuenca	Reglamentación de corrientes	Porcentaje de corrientes de la cuenca reglamentadas
Cubrimiento de necesidades básicas de agua de la población asentada en la cuenca/territorio	El efecto del cambio climático se sentirá mayormente en aquellas comunidades con alto porcentaje de población a las que no se les garantiza el abastecimiento básico del agua	Necesidades básicas insatisfechas	Índice de Necesidades Básica Insatisfechas (NBI)
Capacidad económica para afrontar dificultades por exceso/escasez de agua, de alimento, etc.	Las situaciones adversas que traerá el clima a la cuenca tienen una afectación más marcada en comunidades con limitaciones económicas, dado que se requiere disponer de recurso para hacer frente a tales situaciones.	Pobreza	Índice Multidimensional de Pobreza (IMP)



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Tabla 5. Fuentes de información y procedimiento de cálculo de los indicadores de sensibilidad

INDICE/INDICADOR DE SENSIBILIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN y FORMA DE CÁLCULO
Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa	Se calcula a partir de la capa de coberturas 1:25000, se seleccionan los atributos (Bosques y áreas semi-naturales + áreas húmedas + Superficies de Agua; - embalses y cuerpos de agua - estanques para acuicultura) Se cruza con las unidades de estudio (subcuencas), luego se realiza una sumatoria de coberturas bosques y seminaturales +áreas húmedas Se divide el área de cobertura natural (bosques y seminaturales+áreas húmedas), sobre el área total (unidad de estudio, en este caso subcuenca) y se multiplica por 100
Tasa de deforestación	Se obtiene para cada unidad de análisis (subcuenca) a partir del Mapa de Cambio de la Cobertura de Bosque para Colombia, generado por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono-SMBYC del IDEAM (http://www.ideam.gov.co/documents/11769/648879/HM+Tasa+de+deforestacion_20082019.pdf/85059cca-90e8-4940-99c6-ca3c6b3e0649) en formato raster, con proyección MAGNA SIRGAS EPSG: 3116 (conforme a una escala 1:100.000) y tamaño de pixel de 30.26 x 30.72m. De este mapa se toma lo que corresponde a la unidad de análisis (subcuenca).
Índice de proximidad de parches	El índice de proximidad de parches se calcula a partir del mapa de coberturas de la tierra que se haya elaborado a escala 1:25.000. Del mapa se seleccionan las coberturas vegetales naturales y se utiliza la extensión Patch Analyst de ArcGis o el programa FRAGSTATS para calcular las métricas de paisaje y obtener el índice en cada una de las unidades de análisis (subcuencas).
Porcentaje (%) de humedales transformados	Se usa la capa de coberturas de la tierra 1:25.000, de esta capa con leyenda Corine se excluyen los numerales 3 y 4 (con excepciones en el numeral 3, es decir se incluye algunos atributos del numeral 3 Bosque fragmentado, Bosque fragmentado con pastos y cultivos, Bosque fragmentado con vegetación secundaria, Plantación forestal, Vegetación secundaria o en transición, Tierras desnudas y degradadas, Zonas quemadas". Esta capa se reconoce como capa de coberturas priorizadas en este análisis. Por otro lado, se usa la capa de humedales (todos los atributos). Se intersecta la capa de coberturas priorizadas con la capa de humedales y se produce un capa "humedales transformados".Posteriormente se realiza una sumatoria de áreas de humedales transformados por unidad de estudio (subcuenca). Finalmente se divide el área de humedales transformado obtenido para la unidad de análisis (subcuenca), sobre el área total de humedales y se multiplica por 100
Índice de humedad aprovechable	En datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se toma el mapa elaborado disponible en escala 1:100.000 . De este mapa, a partir del tipo de suelo, según área de ocupación del tipo de suelo en la unidad de análisis (subcuenca), se efectúa el cálculo de humedad aprovechable para cada una de estas.
Índice de uso del agua	Se usa la información de la CAR para cada cuenca en el Estudio Regional del Agua (ERA). Se calcula a partir de la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) para unidad espacial de análisis (subcuenca) en relación con la oferta hídrica regional disponible neta (OHRD) para las mismas unidades de tiempo y espaciales.



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



% de área de la cuenca dedicada a la producción agrícola y pecuaria

Se calcula con base en imagen de uso del suelo. A partir del mapa de coberturas de la tierra que se haya elaborado a escala 1:100.000, se seleccionan las categorías correspondientes con actividades agrícolas (cultivos transitorios, cultivos permanentes y áreas agrícolas heterogéneas) y pecuarias (pastos), y se realiza la sumatoria de áreas para tener el valor de la extensión que ocupa esta actividad en la unidad de análisis (subcuenca). Posteriormente, se divide este valor por el área total de la cuenca y se multiplica por 100.

Porcentaje de UPA que utilizan agua lluvia para actividades agropecuarias

Con base en el censo nacional agropecuario, con el código de pregunta P_S11P124_SP1 (“Las fuentes del agua que utiliza para las act. agropecuarias son: Agua lluvia”), se totaliza el número de UPAs por subcuenca. Finalmente, se divide este valor por el total UPAs de la unidad de análisis (subcuenca) y se multiplica por 100.

% de UPA con dificultades en el uso del agua para actividades agropecuarias por escasez (sequía)

Con base en el censo nacional agropecuario, con el código de pregunta P_S11P126_SP4 (“Durante 2013; ha tenido dificultades en el uso del agua para el desarrollo de las act. agropecuarias por: Por sequía”), se totaliza el número de UPAs por subcuenca. Finalmente, se divide este valor por el total UPAs de la unidad de análisis (subcuenca) y se multiplica por 100.

Tabla 6. Fuentes de información y procedimiento de cálculo de los indicadores de capacidad adaptativa

INDICE/INDICADOR DE CAPACIDAD ADAPTATIVA	FUENTE DE INFORMACIÓN y FORMA DE CÁLCULO
Índice de asociatividad	Con base en el censo nacional agropecuario, con el código de pregunta P_S11P134_SP6 (“ <i>Actualmente el productor pertenece a alguna de las siguientes asociaciones: No pertenece a ninguna asociación</i> ”), se totaliza el número de UPAs que no pertenecen a ninguna asociación, se divide por el total de UPAs de la unidad de análisis (subcuenca) y se multiplica por 100. Este indicador es inverso: a mayor número menor es la asociatividad (menor la capacidad adaptativa)
Porcentaje de UPA que NO realizan prácticas de protección del agua en las actividades agropecuarias	Con base en el censo nacional agropecuario, con el código de pregunta con el código de pregunta P_S11P125_SP11 (“ <i>Protege las fuentes naturales de agua con: No se protegen</i> ”), se totalizan las UPAs que no realizan prácticas de protección del agua del agua, se divide por el total de UPAs de la unidad de análisis (subcuenca) y se multiplica por 100.
Porcentaje de UPA que utilizan pozos, aljibes, reservorios, estanque o jagüey, para actividades agropecuarias	Con base en el censo nacional agropecuario, P_S11P124_SP6 (“ <i>Las fuentes del agua que utiliza para las act. agropecuarias son: Pozos; aljibes; reservorios; estanque o jagüey</i> ”) se totalizan las UPAs que no realizan prácticas de protección del agua del agua, se divide por el total de UPAs de la unidad de análisis (subcuenca) y se multiplica por 100.
Porcentaje de corrientes de la cuenca reglamentadas	Con base en la información disponible en la CAR, se identifican las corrientes reglamentadas en la unidad de análisis (subcuenca), se totaliza por unidad de analizas y se dividen por el número total de corrientes de la unidad de análisis y se multiplica por 100.
Índice de Necesidades Básica Insatisfechas (NBI)	Se descarga de https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-NBI.xlsx . Sin embargo, solo está disponible para la unidad espacial municipio, no por otra unidad como subcuencas. Habría que aplicar el índice que corresponde al municipio en el que se encuentra la subcuenca.
Índice Multidimensional de Pobreza	Se descarga de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-y-desigualdad/pobreza-monetaria-y-multidimensional-en-colombia-2018 Sin embargo, solo está disponible para la unidad espacial municipio, no por otra unidad como subcuencas. Habría que aplicar el índice que corresponde al municipio en el que se encuentra la subcuenca.

Una vez disponibles los valores de las variables de sensibilidad y de capacidad adaptativa calculadas según las orientaciones que se incluyen en las Tablas 5 y 6, se organizan como lo muestran respectivamente las Tablas 7 y 8. Obsérvese que el ejercicio se hace para unidades de análisis subcuencas. Cada una de las $Vs(i)$ y $Vca(i)$ tiene diferentes unidades de medición (principalmente porcentaje de área de la unidad de análisis) y rango de magnitud diversa, por lo que se requiere hacer comparable el rango de las variables para poder integrarlas en un solo indicador de sensibilidad o de capacidad adaptativa de la subcuenca. Esto se hace mediante la normalización sobre la base de los valores máximo y mínimos de cada variable, por lo que se deben identificar tales valores (en las Tablas 7 y 8 estos valores están en las dos últimas filas)

Tabla 7. Organización de los valores obtenidos del cálculo de cada variable de sensibilidad $Vs(i)$ para cada subcuenca (j). (Siguiendo la Tabla 5, el número de variables es 9)

CUENCA	Vs(i)								
Subcuenca(j)	Vs(1)	Vs(2)	Vs(3)	Vs(4)	Vs(5)	Vs(6)	Vs(7)	Vs(8)	Vs(9)
Subcuenca(1)									
...									
Subcuenca (j)									
...									
...									

Subcuenca (N)									
VS máximo	Vs(1) _{mx}	Vs(2) _{mx}	Vs(3) _{mx}	Vs(4) _{mx}	Vs(5) _{mx}	Vs(6) _{mx}	Vs(7) _{mx}	Vs(8) _{mx}	Vs(9) _{mx}
VS mínimo	Vs(1) _{mn}	Vs(2) _{mn}	Vs(3) _{mn}	Vs(4) _{mn}	Vs(5) _{mn}	Vs(6) _{mn}	Vs(7) _{mn}	Vs(8) _{mn}	Vs(9) _{mn}

Tabla 8. Organización de los valores obtenidos del cálculo de cada variable de capacidad adaptativa $Vca(i)$ para cada subcuenca (j). (Siguiendo la Tabla 6, el número de variables es 5)

CUENCA	Vca(i)				
Subcuenca (j)	Vca(1)	Vca(2)	Vca(3)	Vca(4)	Vca(5)
Subcuenca (1)					
...					
Subcuenca (j)					
...					
...					
Subcuenca (N)					
Vca máximo	Vca(1) _{mx}	Vca (2) _{mx}	Vca(3) _{mx}	Vca(4) _{mx}	Vca(5) _{mx}
Vca mínimo	Vca(1) _{mn}	Vca(2) _{mn}	Vca(3) _{mn}	Vca(4) _{mn}	Vca(5) _{mn}

Con los valores máximos y mínimos de cada variable, se procede a normalizarlas, es decir, convertir en valores que estén entre 0 y 1, que serían índices (variables adimensionales, es decir, sin unidades) comparables para operarlos (sumarlos o multiplicarlos) y obtener una representación integra o indicador para cada cuenca. La normalización se realiza mediante la expresión siguiente (para sensibilidad, a la izquierda; para capacidad adaptativa a la derecha):

$$Is_i = \frac{Vs_i - Vs_i^{mn}}{Vs_i^{mx} - Vs_i^{mn}} \quad Ica_i = \frac{Vca_i - Vca_i^{mn}}{Vca_i^{mx} - Vca_i^{mn}} \quad (8)$$

Las Tablas 9 y 10 muestran la organización de los datos con valores normalizados para proceder a los cálculos de los indicadores de sensibilidad S_j y de capacidad adaptativa CA_j

Tabla 9. Organización de los índices $Is(i)$ utilizado para el cálculo de la sensibilidad S_j para cada cuenca j .

CUENCA subcuenca (j)	$Is(i)$									S_j
	$Is(1)$	$Is(2)$	$Is(3)$	$Is(4)$	$Is(5)$	$Is(6)$	$Is(7)$	$Is(8)$	$Is(9)$	
Subcuenca(1)										S_1
...										
Subcuenca (j)										S_j
...										
...										
Subcuenca (N)										S_N
ks_i	ks_1	ks_2	ks_3	ks_4	ks_5	ks_6	ks_7	ks_8	ks_9	

Tabla 10. Organización de los índices $Ica(i)$ utilizado para el cálculo de la sensibilidad CA_j para cada cuenca

CUENCA subcuenca (j)	$Ica(i)$					CA_j
	$Ica(1)$	$Ica(2)$	$Ica(3)$	$Ica(4)$	$Ica(5)$	
Subcuenca(1)						CA_1
...						
Subcuenca (j)						CA_j
...						
...						
Subcuenca (N)						CA_N
kca_i	kca_1	kca_2	kca_3	kca_4	kca_5	

Esto índices son comparables entre sí y con ellos se obtiene el indicador de sensibilidad o de capacidad adaptativa para cada subcuenca j , acudiendo a las expresiones:

$$S_j = \sum_{i=1}^{NV} ks_i * Is_i \qquad CA_j = \sum_{i=1}^{NV} kca_i * Ica_i \qquad (9)$$

Donde S_j y CA_j – sensibilidad y capacidad adaptativa de la unidad de análisis j (j va desde 1 al número N de unidades de análisis - subcuencas); ks_i y kca_i - coeficientes de ponderación (pesos) para la variable de sensibilidad Is_i o de capacidad adaptativa Ica_i respectivamente (i va de 1 al número de variables utilizadas - NV). Para la definición de ks_i o kca_i , si el número de variables es superior a tres ($i>3$), el valor (peso) de estos coeficientes se estima mediante análisis de componentes principales. Si $i<3$, se utiliza un promedio simple para obtener S_j o CA_j y los coeficientes ks_i o kca_i tendrán el mismo valor y sería igual a la división de $1/NV$.

Los valores obtenidos de S_j y CA_j oscilan entre 0 y 1, por lo que se puede establecer categorías de sensibilidad de la siguiente manera: 0,0-0,19 – muy baja; 0,20-0,39 – baja; 0,40-0,59 – media; 0,60-0,79 – alta; 0,80-1.0 –Muy Alta

Tabla 11. Indicadores de *sensibilidad* por dimensión municipio

DIMENSIONES	Vs(i)
Ecosistemas y servicios ecosistémicos	Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa Tasa de deforestación Índice de proximidad de parches Porcentaje (%) de humedales Índice de humedad aprovechable Índice de uso del agua Índice de pobreza multidimensional Densidad vial territorial
Recursos hídricos	Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa Porcentaje (%) de humedales Índice de humedad aprovechable Índice de uso del agua Índice de regulación hídrica Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico – IVH Índice de Calidad de Agua – ICA Autonomía hídrica territorial (Autosuficiencia de recurso hídrico) Índice de uso de agua subterránea Cobertura de Acueducto Urbano y Rural
Energía	Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) Índice de pobreza multidimensional (IPM) Distancia a la infraestructura eléctrica (DIE) Índice de diversidad energética
	% de área de la cuenca dedicada a la producción agrícola y pecuaria Porcentaje de UPAs que depende únicamente de agua lluvia para sus actividades % de UPAs con dificultades en el uso del agua para actividades agropecuarias por contaminación

Seguridad alimentaria y producción agropecuaria	% de UPA con dificultades en el uso del agua para actividades agropecuarias por escasez Autonomía hídrica (Autosuficiencia de recurso hídrico) Índice de uso de agua subterránea Índice de pobreza multidimensional
Riesgo de desastre	# de fenómenos meteo, hidrometeo, meteomarinero e hidroclimáticos extremos que tienen presencia en el territorio Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa Tasa de deforestación Índice de pobreza multidimensional
Salud humana	Índice Parasitario Anual de dengue; Índices representativos del efecto de la contaminación atmosférica en la salud (casos por 1000 habitantes: Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)) Índice representativo del efecto de la calidad del agua en la salud: Infecciones Diarreicas Agudas (IDA) Índice de pobreza multidimensional
Hábitat humano	Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa Índice de uso del agua # de fenómenos meteo, hidrometeo, meteomarinero e hidroclimáticos extremos que tienen presencia en el territorio Índice de pobreza multidimensional
Infraestructura	Porcentaje (%) de área de la cuenca con cobertura boscosa # de fenómenos meteo, hidrometeo, meteomarinero e hidroclimáticos extremos que tienen presencia en el territorio % de área de la cuenca dedicada a la producción agrícola y pecuaria Índice de pobreza multidimensional

Tabla 12. Indicadores de capacidad adaptativa por dimensión municipio

DIMENSIONES	Vca(i)
Ecosistemas y servicios ecosistémicos	Índice de asociatividad Porcentaje de UPA que NO realizan prácticas de protección del agua en las actividades agropecuarias Porcentaje de UPA que utilizan pozos, aljibes, reservorios, estanque o jagüey para actividades agropecuarias % del área de la unidad de análisis (cuenca/municipio) con áreas protegidas RUNAP Índice de desempeño integral municipal
Recursos hídricos	Índice de asociatividad Porcentaje de UPA que NO realizan prácticas de protección del agua en las actividades agropecuarias Porcentaje de UPA que utilizan pozos, aljibes, reservorios, estanque o jagüey para actividades agropecuarias % del área de la unidad de análisis (cuenca/municipio) con áreas protegidas RUNAP Porcentaje de corrientes de la cuenca reglamentadas % de UPAs con asistencia técnica prestada por UPA % de la superficie agrícola con irrigación [existencia de infraestructura de riego] % de UPAs que No realizan actividades de conservación del suelo. Índice de desempeño integral municipal
Energía	Índice de desempeño municipal Índice de importancia económica municipal

Agricultura y seguridad alimentara	Índice de asociatividad Porcentaje de UPAs con asistencia técnica prestada por UPA Número de productores que no pertenecen a ningún tipo de asociación en el municipio % de la superficie agrícola con irrigación [Existencia de infraestructura para riego] % de UPAs que realizan actividades de conservación del suelo Índice de desempeño integral municipal
Riesgo de desastre	Índice de asociatividad Índice de desempeño integral municipal Indicador de Importancia económica municipal
Salud humana	Índice de asociatividad Capacidad instalada de servicios de atención en salud (puestos de salud, hospitales, camas hospitalarias x 1000 hab) Índice de desempeño integral municipal Indicador de Importancia económica municipal
Hábitat humano	Índice de asociatividad Índice de desempeño integral municipal Indicador de Importancia económica municipal
Infraestructura	Índice de asociatividad Índice de desempeño integral municipal Indicador de Importancia económica municipal

Con los indicadores de S_j y CA_j calculados para todas las unidades de análisis (subcuencas/municipios) es posible calcular la vulnerabilidad restándole a la primera (la sensibilidad) la segunda (la capacidad adaptativa). Igualmente, es posible elaborar los mapas de sensibilidad, capacidad adaptativa y de vulnerabilidad, utilizando una paleta de colores convencional (como la de la Tabla 13) para las diferentes categorías de cada uno de estos componentes del riesgo.

Tabla 13. Representación gráfica (paleta de colores) sugerida para las diferentes categorías de sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad para utilizar en los mapas correspondientes.

	Muy Baja	Baja	Media o Moderada	Alta	Muy Alta
Sensibilidad					
Capacidad Adaptativa					
Vulnerabilidad					

Finalmente, con las valoraciones de la amenaza y la vulnerabilidad, multiplicando las dos (como lo señala la expresión de cálculo (1), se obtiene el riesgo para cada una de las unidades de análisis



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



(cuenca/municipio). Se elabora el mapa correspondiente utilizando categorías y paleta de colores como las señaladas para representar la vulnerabilidad.



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Referencias Bibliográficas

Aguirre, L.F., Anderson, E.P., Brehm, G., Herzog, S.K., Jørgensen, P.M., Kattan, G.H., Maldonado, M., Martínez, R., Mena, J.L., Pabón, J.D., Seimon, A., Toledo, C. (2011): Phenology and Interspecific Ecological Interactions of Andean Biota in the Face of Climate Change. (Chapter 4 in: Herzog S., Martinez R., Jorgensen P.M., Tiessen H., (Eds), 2011: Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. McArthur Foundation- Inter American Institute for Global Change Research (IAI) – Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 348 p), pp. 68-92.

Avriel-Avni, N., & Dick, J. (2019). Differing perceptions of socio-ecological systems: Insights for future transdisciplinary research. *Advances in Ecological Research*. doi:10.1016/bs.aecr.2019.03.001

Berrouet, L.M., Machado, J., Villegas-Palacio, C.. (2018). Vulnerability of socio-ecological systems: a conceptual framework. *Ecological Indicators*, 84, 632-647

Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W. G., Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society* 18(4): 26. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05551-180426>

Cardona, O. (2011). Disaster risk and vulnerability: concepts and measurement of human and environmental insecurity. En H. Günter, Ú. Oswald, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, . . . J. Birkma, *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security: Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks* (Vol. 5). Berlin, Heidelberg: Springer Berlag.

Carlton, T.A., Hsiang, S.M. (2016) Social and economic impacts of climate. *Science*, 353 (6304), aad9837-1 aad9837-15.

CAR-UNAL (2024). Pabón-Caicedo, J.D., Carvajal-Vanegas, A.F., Armenta-Porras, G.E., Martínez, J.A., Camacho, J.C., Guerrero-Castelblanco, L., Celis-Gil, L.V., Cusgüen-Castro, L.F., Céspedes -Romero, M.P., Ortiz- Olarte, D.W., Peña-Beltrán, Z.Y., González-Daza, W., Sánchez-Rojas, G., Osorio-Bustamante, E., Mora-Linares, J.T., Riaño-Acosta, W.O., Jiménez-Vergara, J.M., Guzmán-García, C.A., Farfán- A.spina, K.L., Pongutá-Buitrago, L.M., Báez-Caballero, M.E., Giraldo-Vieira, C., García-Gómez, A.M., López-Cleves, J.A., Sabogal-Ardila, L.M., Garzón-Rodríguez, A.S., J.D. Acosta-Romero. El cambio climático en la cuenca del río Bogotá: amenaza, vulnerabilidad, riesgo y adaptación. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – Universidad Nacional de Colombia. Convenio 3702 CAR-UNAL. Bogotá D.C.

CAR-UNAL (2018). Guía ilustrativa sobre análisis de la vulnerabilidad territorial ante el cambio climático. Propuesta metodológica para los entes territoriales de la jurisdicción CAR. Grupo de Cambio climático DGOAT de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – Grupo de investigación “Tiempo, clima y sociedad” Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 73 páginas.

Delgado O. (2007). Ideas geográficas sobre la relación tiempo, clima y sociedad: el determinismo geográfico como ideología. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*.

Fagan, B. (2009). *Floods, Famines, and Emperors: El Nino and the Fate of Civilizations*. Basic Books. New York, 346 p.

Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16:253-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002> Folke, C. 2007. Social-ecological systems and adaptive governance of the commons. *Ecological Research* 22:14-15. <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-006-0074-0>



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., Walker, B. (2007). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio* 31:437-440.

Füssel, H.-M., & Klein, R. J. T. (2006). Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change*, 75(3), 301–329. doi:10.1007/s10584-006-0329-3

García-González J.A. (2005). El determinismo ambiental en dos autores clásicos: Hipócrates y Herodoto. *Baetica Estudios de Arte, geografía e Historia*, 27, pp.307-329.

Giosan, L., Fuller, D.Q., Nicoll, K., Flad, R.K., Clift, P.D., Editores (2012). *Climate, Landscapes and Civilizations*. Geophysical Monograph No. 198, American Geophysical Union, Washington D.C., 226 p.

Hodell, D.A., Curtis, J.H., Brenner, M. (1995). Possible Role of the Climate in the Collapse of Classic Maya Civilization. *Nature*, 375, 341-347.

Holt-Jensen A. (1999). *Geography: History & Concepts. A Student's Guide*. Third Edition. SAGE Publications. London – Thousand Oaks – New Delhi. 228 p.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2017). Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM-UNAL (2018). Variabilidad climática y cambio climático en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 53 p.

IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken D.J., Ebi, K.L., Mastandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner G-K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. (Eds)] Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 58 pp.

IPCC (2014). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press. Cambridge, UK doi:10.1017/CBO9781107415379.

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.

IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.

Kates R.W. (1985). The Interaction of Climate and Society. In: Kates R.W., Ausubel J.H., and Berberian M., (Eds. 1985: “Climate Impact Assessment: Studies of the Interaction of Climate and Society”, John Wiley, pp 3-36



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Kelly, P. M., & Adger, W. N. (2000). Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. *Climatic Change*, 47(4), 325–352. doi:10.1023/a:1005627828199

Kronik J., Verner D. (2010): Indigenous peoples and climate change in Latin America and the Caribbean. Direction and Development - Environment and Sustainable Development Series No. 55540, The World Bank. Washington D.C., 185 p.

Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano: problemas y conceptos. En M. A. Fernández, *Ciudades en Riesgo* (págs. 2-30). Lima: La Red.

Lemos L.L., Pabón J.D., Murillo W., Córdoba S., Palomino R., 2011a: Evaluación de los efectos e impactos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre poblaciones humanas con miras a fundamentar estrategias de mitigación y adaptación en el municipio del Medio Atrato-departamento del Chocó. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “IIAP” –HIDROMETPACIFICO. 57 páginas.

Lemos L.L., Pabón J.D., Murillo W., Córdoba S., Palomino R., 2011b: Evaluación de los efectos e impactos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre poblaciones humanas con miras a fundamentar estrategias de mitigación y adaptación en el municipio del Medio Baudó-Puerto Meluk. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “IIAP” –HIDROMETPACIFICO. 59 páginas.

Lemos L.L., Pabón J.D., Murillo W., Córdoba S., Palomino R. (2012a) Identificación de riesgos y vulnerabilidades a las comunidades indígenas asentadas en el municipio de Timbiquí-departamento del Cauca (resguardos Calle de Santa Rosa, La Sierpe, Almorzadero, San Isidro y Nueva Unión. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “IIAP” –HIDROMETPACIFICO. 40 Páginas.

Maskrey, A. (1993). Los Desastres no son Naturales. La Red, Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.

Meze-Hausken E. (2007). Climate and Society a complex and conditional relationship. Dissertation for the degree philosophiae doctor (PhD) at the University of Bergen. Department of Geography, University of Bergen, 39 p.

Nagel, J. (2016). Gender and climate change. Impacts, Science, Policy. Routledge. New York – London. 249p.

Newell, B., C. L. Crumley, N. Hassan, E. F. Lambin, C. Pahl-Wostl, A. Underdalf, and R. Wasson. 2005. A conceptual template for integrative human–environment research. *Global Environmental Change* 15:299-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.06.003>

Nieto M., Castaño P., Ojeda D. (2005). “El influjo del clima sobre los seres organizados” y la retórica ilustrada en el *Semanario del Nuevo Reyno de Granada*. *Historia Crítica*, No.30, pp.91-114

Ostrom, E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325:419-422. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1172133>

Otto, I. M., Reckien, D., Reyer, C. P. O., Marcus, R., Le Masson, V., Jones, L., ... Serdeczny, O. (2017). Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1651–1662. doi:10.1007/s10113-017-1105-9



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, P.A. (2007). Updated world map of Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644.

Preston, B. L., Yuen, E. J., & Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability Science*, 6(2), 177–202. doi:10.1007/s11625-011-0129-1.

Salick J., Byg A. (2007). Indigenous people and Climate Change. University of Oxford - Missouri Botanical Garden. Tyndall Centre for Climate Change Research Oxford.

Stehr, N., von Storch, H. (1997). The social construct of climate and climate change. *Climate Research*, 5, 99-105

Strauss, S., Orlove, B., Editors (2009). *Weather, Climate, Culture*. Berg - Oxford International Publishers Ltd. Oxford – New York. 397 p.

Thomas, K., Hardy, R. D., Lazrus, H., Mendez, M., Orlove, B., Rivera-Collazo, I., Roberts, J.T., Rockman, M., Warner, B.P., Winthrop, R. (2019). Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, e565. 1-18. doi:10.1002/wcc.565

Tonmoy, F. N., El-Zein, A., & Hinkel, J. (2014). Assessment of vulnerability to climate change using indicators: a meta-analysis of the literature. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(6), 775–792. doi:10.1002/wcc.314

Ulloa E.A., 2008: Implicaciones ambientales y culturales del cambio climático para los pueblos indígenas. En: Ulloa E.A., Escobar E.M., Donato L.M., Escobar P., (editoras), 2008: *Mujeres indígenas y cambio climático. Perspectivas latinoamericanas*. Universidad Nacional de Colombia – Fundación Natura – UNODC, Bogotá D.C., pp. 17-34.

Ulloa A., Editora (2011a). *Perspectivas culturales del clima. Perspectivas Ambientales*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 576p.

Ulloa, A., (2011b). Construcciones culturales sobre el clima. En. *Perspectivas culturales del clima*. (Ulloa, A., (Ed.), 2011). *Perspectivas culturales del clima. Perspectivas Ambientales*, pp. 33-53.

UNESCO(2009). Estudios de caso. En *Cambio climático y patrimonio cultural*. Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Paris, Francia. 79 p.

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En A. Maskrey, *Los desastres no son naturales* (págs. 11-44). La Red (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina)

WMO, (2017). *Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland, 18p.

Young, O. R., Berkhout, F., Gallopín, G.C., Janssen, M.A., Ostrom, E., van der Leeuw, S. (2006). The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change* 16:304-316. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.004>.



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



GLOSARIO

Acciones de adaptación: Los planes, programas y proyectos que dentro de sus objetivos planteen intervenciones concretas (medidas) en el territorio, orientadas a lograr la adaptación al cambio climático. Nótese que se diferencias de “medidas de adaptación” que son las intervenciones concretas en el territorio.

Adaptación al cambio climático: Ajuste o reacondicionamiento a un clima cambiante

Amenaza: Condición en la que un sistema o elemento del sistema puede ser afectado/impactado adversamente por un factor externo. En el caso de riesgo de desastre, el factor externo es un fenómeno extremo que genera desastre. **En el contexto del cambio climático**, el factor externo es la modificación paulatina del patrón climatológico (el cambio de la condición predominante). [La amenaza señala la posibilidad de ser afectado por un estímulo externo; el riesgo ya es el posible producto o resultado (impacto) de dicha afectación]

Cambio climático: Modificación que ocurre gradualmente en el largo plazo de las condiciones atmosféricas predominantes (clima) producida por procesos propios del sistema climático (ciclos por períodos de siglos, de milenios y de millones de años) o por actividades humanas.

Capacidad de adaptación/Capacidad adaptativa: Capacidad de los sistemas humanos, de los sistemas naturales y de otros sistemas y organismos para adaptarse ante los cambios en el medio a fin de reducir los posibles impactos negativos (riesgos) o de aprovechar las oportunidades o beneficios que pueda ofrecer tal cambio. En el contexto del cambio climático es la condición y potencial que tiene un sistema (cuenca/territorio, comunidad, sector socioeconómico) para ir ajustándose a las condiciones cambiantes y reducir la magnitud de los posibles impactos o aprovechar las oportunidades que puedan surgir en la nueva situación; en principio la capacidad adaptativa es la aptitud o facultad del sistema (cuenca/territorio) para acondicionarse al clima cambiante controlando/tratando/corrigiendo la sensibilidad en cada uno de sus subsistemas o elementos.

Clima: Condiciones atmosféricas predominantes durante un período determinado (meses, años, siglos, miles de años) sobre un lugar o una región, las cuales están controladas por factores radiactivos forzantes (radiación solar y efecto invernadero de la atmósfera), la interacción de la atmósfera con otros componentes del sistema Tierra (hidrosfera, biosfera, litosfera y antroposfera). El clima de un lugar o región está dado por su localización y la influencia de factores físico-geográficos (latitud, altitud sobre el nivel del mar, continentalidad, orografía, circulación atmosférica, corrientes marinas).

Desastre: Situación crítica en la interacción sociedad-naturaleza en la que el impacto de un fenómeno extremo genera una disrupción en el normal transcurrir y en el desarrollo territorial debido a la pérdida de vidas, heridos, afectados o damnificados, pérdida o daños en bienes materiales, etc. Según la Ley 1523 de 2012, “es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción”

Escenario climático: Clima simulado bajo condiciones supuestas en los factores forzantes o en alguno o algunos de los componentes del sistema climático. En el marco de los informes del IPCC sobre cambio climático, los escenarios se desarrollan para supuestos en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera; estas concentraciones dependen de diferentes ritmos asumidos para la dinámica de las emisiones generadas por las diferentes formas de actividad humana o, dicho de otra forma, de rutas o tendencias hipotéticas en el desarrollo socioeconómico global. Con las concentraciones supuestas para cada ruta se intervienen los modelos climáticos para generar el clima correspondiente a cada escenario. En el proceso de Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC-AR6) se utilizaron los Shared Socioeconomic Pathways (SSP) o, en español, Rutas Socioeconómicas Compartidas.

Escenario de cambio climático: Diferencia entre un escenario climático y un clima de referencia.

Exposición: En el contexto de riesgo por cambio climático, son diversos elementos distribuidos en el territorio que son susceptibles de ser afectados por el cambio climático. Según IPCC (2014 y 2022), la exposición es la población, los ecosistemas, sus funciones y servicios, los medios de vida, los recursos, los bienes y servicios, el patrimonio económico, social y cultural.

Fase extrema de variabilidad climática: período de meses o de hasta uno-dos años con anomalía climática extrema (período anormalmente cálido o frío, o de déficit o exceso de precipitación que conllevan a fenómenos hidrológicos extremos como sequía o inundaciones).

Fenómeno hidrológico extremo: Manifestación extrema del clima, alteración marcada en las condiciones predominantes. A esta categoría de fenómenos pertenece la sequía y los períodos anormalmente abundantes de lluvia que conllevan a inundaciones de larga duración.

Fenómeno hidrometeorológico extremo: Manifestación extrema en el nivel o volumen de agua sobre la superficie o en el cauce de una corriente, generada por lluvia intensa. En este tipo se pueden catalogar las crecientes súbitas, las inundaciones súbitas.

Fenómeno meteomarinero extremo: Expresiones extremas en la interacción océano-atmósfera, como el alto oleaje (como el mar de leva), la marea de tempestad, la tromba marina.

Fenómeno meteorológico extremo: Expresión brusca de los procesos atmosféricos; o ruptura intempestiva del umbral normal de las variables meteorológicas (temperatura, presión atmosférica, viento, precipitación); manifestación inusual, intensa de los procesos atmosféricos. Ejemplo de estos pueden ser las olas de calor o las heladas, los ciclones tropicales o huracanes, los vendavales, las lluvias intensas, tormentas eléctricas y granizadas.



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Formación vegetal: En el modelo clima-vegetación de Holdridge, tipo de vegetación climáticamente posible en una región. Vegetación que se observaría en una región considerando las condiciones climáticas que prevalecen en la misma. También se conoce como vegetación potencial. Es una aproximación al concepto de bioma.

Medida de adaptación: Intervención concreta en el territorio/región orientada a lograr la adaptación al cambio climático en alguna de sus aspectos o dimensiones mediante la reducción de la vulnerabilidad, disminuyendo la sensibilidad y fortaleciendo la capacidad adaptativa.

Resiliencia: Característica de un sistema o elemento de sistema que muestra su capacidad para amortiguar la acción de un evento externo, asimilarla y recuperarse, al menos, a la condición que mantenía antes de ser afectado.

Riesgo por cambio climático: Estimación de los posibles impactos del cambio climático expresados en categorías cualitativas. [La amenaza señala la posibilidad de ser afectado por un estímulo externo; el riesgo ya es el posible producto o resultado (impacto) de dicha afectación]

Riesgo de desastre: Posible impacto negativo causado por un evento extremo que ocurre en la cuenca/territorio expresado en categorías cualitativas.

Sensibilidad: En el contexto del riesgo por cambio climático, la sensibilidad es el grado de susceptibilidad de un sistema (sistema humano, ecosistema, territorio) o elemento del sistema (por ejemplo, dimensión del territorio) ante la modificación que en el medio genera el cambio climático. Son las características de la dimensión del territorio que hace que el efecto del cambio climático se perciba en mayor o menor grado.

Susceptibilidad: Predisposición o condición de poder ser afectado, en el caso del cambio climático por la modificación progresiva en las condiciones atmosféricas predominantes (cambios en: la temperatura media, en la precipitación media y en la frecuencia promedio de los fenómenos meteorológicos e hidroclimáticos extremos).

Territorio: Área del espacio geográfico sobre la cual se tiene un interés (o intereses) determinado (s) por parte de un sujeto (comunidad, nación, etc), interés que se preserva mediante el ejercicio del poder que ordena/organiza el ejercicio de derechos (al uso, explotación o disfrute) sobre el objeto de interés.

Tiempo atmosférico: Estado de la atmósfera en un instante dado (OMM, 2012), el cual se determina a partir de la valoración (cualitativa o cuantitativa) de diversos elementos meteorológicos (temperatura y humedad del aire, presión atmosférica, vientos, fenómenos, entre otros).

Variabilidad climática: Fluctuación de las condiciones atmosféricas predominantes (clima) alrededor del umbral considerado normal, que genera ciclos en el clima con periodos de años y decenios. Según OMM (2012), la desviación de las estadísticas del clima de un determinado período (mes, estación o año) respecto



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



a las estadísticas a largo plazo de dicho período. Es decir la diferencia entre el valor de una variable en relación con el promedio.

Vulnerabilidad: En el esquema de **riesgo de desastre**, es la característica de un sistema o elemento del sistema (territorio/cuenca o aspecto del territorio/cuenca) que muestra su capacidad (o incapacidad) para recibir, sobrellevar y recuperarse del impacto de una acción externa del medio en el que se desarrolla. Si tal acción es la de un fenómeno extremo (meteorológicos o hidroclimático extremo) causante de desastre, la vulnerabilidad se establece a partir de la contraposición de características intrínsecas del sistema como su **sensibilidad** ante el embate de una alteración brusca en el medio y su resiliencia. En el caso de que la acción externa sea una modificación paulatina como el **cambio climático**, es decir en el esquema de **riesgo por cambio climático**, la vulnerabilidad resulta de contraponer la sensibilidad a ese cambio y la capacidad adaptativa al mismo.

PARTE II

Marco conceptual y metodológico para el análisis de riesgos por cambio climático en la minería



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”





Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



II.1 Introducción

El contrato 1113 suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) – (Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía), con el objeto de *“Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático 2050”* establece el compromiso del desarrollo de una serie de actividades y generación de productos que se organizan en el marco de este proyecto. Dentro de estos, se llevó a cabo una reunión técnica con actores del subsector minería, el día 19 de noviembre del 2024, con el fin de construir la base conceptual de la relación del sector minero-energético.

En el cumplimiento de lo establecido en el contrato, el PRODUCTO 8, según la minuta del convenio, consiste en la *“Evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgos en los componentes del sector minero energético y en las dimensiones territoriales asociadas al cambio climático para fundamentar estrategias y acciones de adaptación sectorial al cambio climático”*. Dentro de este producto se encuentra el marco conceptual de la relación clima – sector minero energético. El presente documento presenta aspectos de dicha relación a partir de la influencia del clima en el subsector minería y de los impactos del cambio climático en el mismo, como aporte la construcción del marco conceptual del producto 8, utilizando como parte de los insumos los resultados obtenidos en la reunión técnica celebrada con actores del sector.

Las bases para la generación de este marco conceptual han sido: encuesta realizada a actores del sector, análisis en reunión técnica con diferentes actores del sector, entrevista con la experta en el tema Karen de la Hoz, reuniones con Juliana Chaparro y Danys Ortiz, funcionarios del Ministerio de Minas y Energía.

II.2. La influencia del clima en el subsector minero

La influencia del clima en la minería se explica por la relación diferencial entre el comportamiento espacial y estacional de las variables climatológicas (como la precipitación, temperatura y eventos extremos) y los diferentes tipos de minería, la escala de operación, los métodos de extracción utilizados y las fases de la línea de producción. De esta manera, el clima incide en diferentes aspectos de la actividad minera, desde los tiempos y costos de montaje y operación de determinada actividad, hasta la calidad ambiental en los cierres de las minas (Figura II.1).

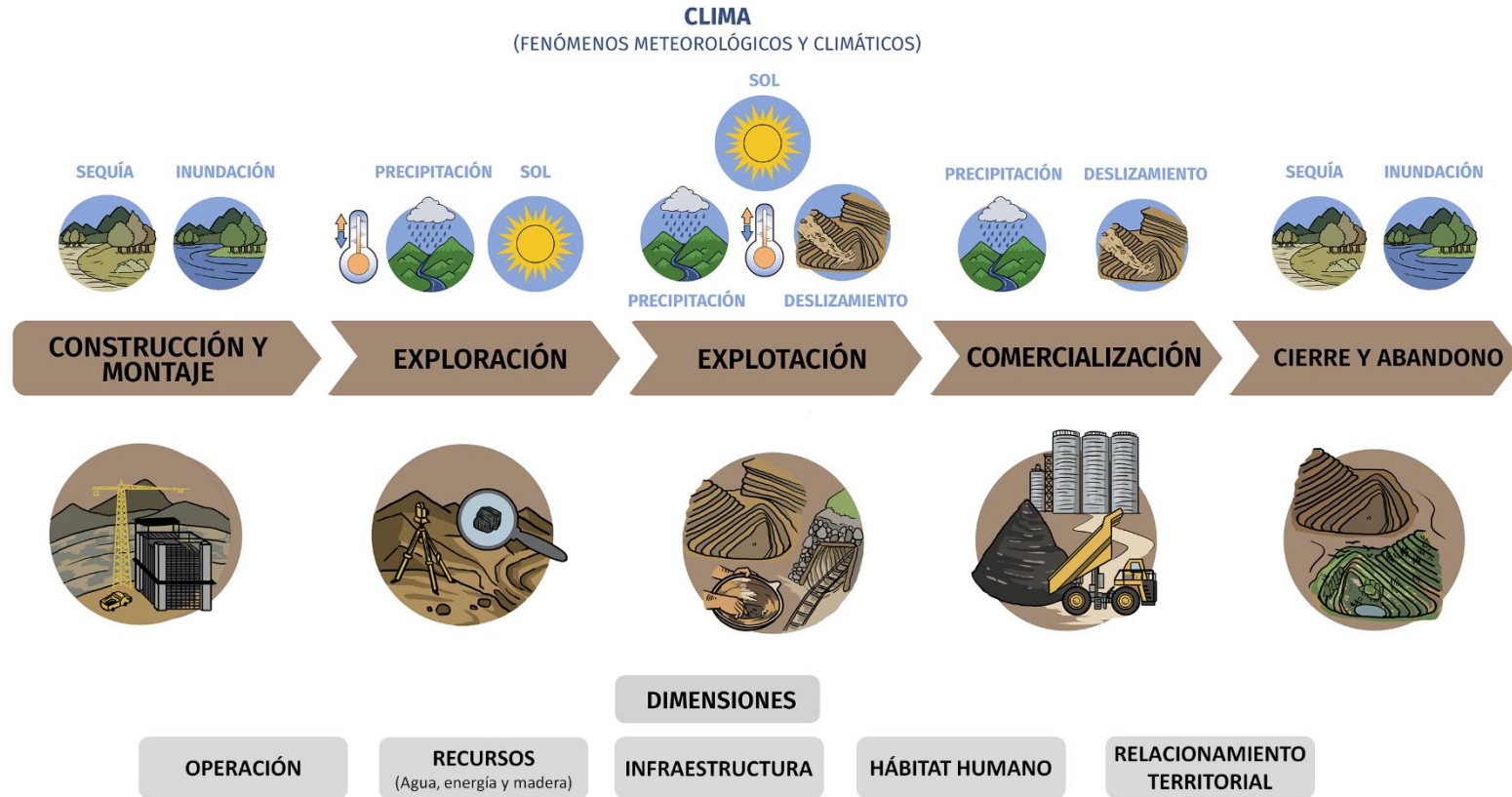


Figura II.1. Representación esquemática de la influencia del clima en diferentes fases de la actividad minera

A continuación, se sintetiza las diferentes formas como el clima influye en los segmentos o fases de la línea de producción minera:

- **Construcción y montaje:** En esta fase, el clima influye en los tiempos y costos asociados a la construcción y el montaje de una operación minera. De este modo, puede modificar la eficiencia en la instalación de equipos, transporte de maquinaria y materiales, así como en la edificación de infraestructuras destinadas a la extracción, procesamiento, transporte o alojamiento. La Figura II.2, ilustra dos tipos de infraestructura minera, artesanal de aluvión y subterránea. Su construcción y montaje dependerán de las condiciones climáticas locales, así como de la época del año donde las condiciones sean favorecedoras para su instalación. Además, la elección de los materiales más apropiados para soportar las características climáticas específicas de precipitación, humedad y temperatura. En condiciones normales o en fases extremas, el clima puede influir en variaciones de los costos previstos, tanto de insumos como de tiempos del proceso.



Figura II.2. Infraestructura para minería artesanal de aluvión (izquierda) y subterránea de metálicos (derecha), tomado de: J. Ángel, et al., 2019.

- **Exploración:** El clima incide en la movilización de insumos, la realización de muestreos, el transporte de muestras y, en general, en las actividades asociadas, causando variaciones en tiempos y costos de exploración. Dependiendo de la ubicación de un proyecto minero, durante esta fase se analiza la posible generación de drenajes mineros, teniendo en cuenta que el clima influye en procesos como la movilización de iones y cationes, lo cual requerirá de un adecuado manejo en las fases posteriores para prever posibles impactos ambientales y operativos.
- **Explotación:** El clima incide en los diferentes tipos de minería, debido a factores como la disponibilidad de agua que es esencial para procesos propios de la actividad. También

influye en el manejo de las infraestructuras, las vías de acceso y las condiciones laborales de los trabajadores, lo que puede generar variaciones en tiempos y costos de operación. Asimismo, la temperatura y la precipitación son factores que interactúan con los minerales y sistemas de depósito, por ejemplo, durante la explotación se generan drenajes mineros (Figura II.3), a partir de la exposición de minerales a las condiciones externas de precipitación y temperatura; dependiendo de las condiciones climáticas locales del proyecto minero, puede variar su ocurrencia e intensidad. De la misma manera, los depósitos de relaves (Figura II.2) están relacionados con el clima, toda vez que su capacidad de almacenamiento debería contemplar escenarios de cambio climático para una estimación precisa de dicha capacidad.



Figura II.3. Drenajes mineros (izquierda) tomado de: J. Ángel, et al., 2019, y depósitos de relaves (derecha) tomado de Alfonso, et al., 2021.

- **Comercialización:** La distribución espacial y los tipos de clima inciden en la disponibilidad temporal de las vías a través de las cuales se comercializan los minerales. La exposición de los minerales a las condiciones meteorológicas durante el almacenamiento o transporte puede incidir en la calidad de los productos. Además, la relación entre producción energética y actividad minera, asociada a la variabilidad climática puede influenciar fluctuaciones en la demanda y los costos de minerales energéticos como el carbón.
- **Cierre y abandono:** El clima provee algunas de las condiciones esenciales que facilitan procesos de revegetalización y restauración ecológica en minería a cielo abierto. De la misma manera, incide en los procesos de meteorización química y física de minerales, lo que se relaciona con los procesos de adecuaciones geomorfológicas y de paisaje en los cierres mineros, así como en las obras de contención de laderas, y en la ocurrencia e intensidad de drenajes mineros. La temperatura y la precipitación son factores que modifican las características y los efectos de los drenajes mineros en esta fase.

II.3 Los impactos de la variabilidad climática y del cambio climático en el subsector minería.

A partir de las relaciones expuestas en el capítulo anterior entre el clima y el subsector minero, se evidencia que los fenómenos climáticos extremos impactan diversos aspectos de las distintas fases de la línea de producción minera. Bajo este panorama, y considerando el contexto de actual y posible futuro del cambio climático, se estima una agudización de los efectos negativos de las fases extremas de la variabilidad climática sobre los diferentes aspectos del subsector. A continuación, se resumen los impactos del cambio climático en cada una de las fases de la línea de producción de la minería:

- **Construcción y montaje:** La exacerbación de las fases extremas de la variabilidad climática impactan en esta etapa, generando posibles retrasos en la instalación de maquinaria, y construcción de infraestructuras necesarias para la extracción de los minerales, aumentando costos y dificultando el acceso de personal, materiales y suministros, especialmente en áreas remotas. Estos incluyen retrasos en las labores, dificultades en la accesibilidad a proyectos alejados, y afectaciones en la seguridad ocupacional de los trabajadores.
- **Exploración:** Las fases extremas de la variabilidad climática pueden dificultar la adecuada ejecución de la programación de las labores de exploración, afectando el acceso a las áreas de trabajo y comprometiendo la seguridad ocupacional de los trabajadores. Esto podría generar, afectaciones en tiempos y costos operativos, dificultando la planificación y avance eficiente de las actividades de exploración.
- **Explotación:** En esta etapa, los efectos de las fases extremas de la variabilidad climática varían de acuerdo con el tipo de minería que se lleve a cabo. En la minería a cielo abierto, la ocurrencia de las precipitaciones extremas puede generar procesos de erosión, remoción en masa, inundaciones y sedimentación, las cuales podría aumentar en frecuencia e intensidad bajo un escenario de incremento en las precipitaciones. Por ejemplo, la Figura 4 muestra dos tipos de minería de oro, artesanal de barequeo y con retroexcavadora, ambos procesos susceptibles de ser impactados por los fenómenos antes mencionados. Además, durante épocas de sequía, el manejo de material particulado se intensifica, una situación que se exagera con el aumento gradual de la temperatura global. Por otro lado, la minería aluvial, que depende directamente de los caudales de ríos y fuentes hídricas, se ve particularmente afectada por cambios en los patrones de lluvia y sequía, complicando la extracción de minerales. En cuanto a la

minería subterránea, la infiltración de agua puede comprometer la estabilidad estructural. Esto puede ocasionar afectaciones a la infraestructura minera, en las vías de acceso, y en los sistemas de drenaje, lo que genera retos adicionales para la gestión de las aguas, relacionados con inundaciones, y estabilidad de las obras. Sumado a lo anterior, el incremento de las temperaturas, afecta las condiciones laborales de los trabajadores, lo que en conjunto puede alterar las metas de producción y los costos asociados a la operación minera.



Figura II.4. Minería de oro artesanal y con retroexcavadora (izquierda), tomado de: J. Ángel, et al., 2019.

- **Comercialización:** Las condiciones extremas de húmedas en el aire pueden afectar la calidad de los minerales; por ejemplo, el carbón o los metales obtenidos mediante minería a cielo abierto, pueden perder calidad a causa de la humedad y las lluvias. Además, las cadenas de suministro y transporte de minerales se pueden ralentizar, debido a eventos extremos tales como procesos de remoción en masa, hundimientos o inundaciones, que afecten vías terrestres o férreas. Por otro lado, la disminución hídrica a causa de bajas precipitaciones, que afecta la producción hidroeléctrica, puede ocasionar una sobredemanda de minerales energéticos, como el carbón, lo cual puede generar fluctuaciones sobre los precios y presiones sobre la producción.

- **Cierre:** Los procesos de recuperación ambiental y del paisaje, a través de restauración ecológica, revegetalización o adecuaciones geomorfológicas, especialmente en minas a cielo abierto, pueden verse afectados por el cambio en las fases extremas de la variabilidad climática. Por un lado, la ocurrencia de altas precipitaciones puede comprometer la estabilidad de taludes y estructuras de contención de ladera, además de generar procesos erosivos que afectan las obras de cierre en canteras y socavones; por otro lado, las sequías pueden generar pérdida de especies vegetales utilizadas en los procesos de compensación y restauración ecológica de la mina.

Otro factor relacionado se asocia a la acumulación de agua estancadas en minas abandonadas, los cuales, a cambios en los patrones de lluvias y sequías e incremento de la temperatura, pueden favorecer la proliferación de vectores, por ejemplo, de insectos transmisores de enfermedades como el dengue, malaria y chikunguña.

Es importante considerar que una gestión adecuada del proceso de cierre, que contemple la capacidad de carga hídrica y escenarios de precipitación, junto con una evaluación de la variabilidad climática, puede contribuir a minimizar los riesgos asociados por ejemplo al drenaje minero. Esto es fundamental para evitar la dispersión de metales pesados, ácidos y bases en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, derivados de la exposición ambiental y la meteorización química de



minerales. Ver Figura II.4.

- **Figura II.4. Drenajes mineros en cuerpo de agua superficial, tomado de: J. Ángel, et al., 2019.**

II 4 Marco metodológico para abordar el análisis de riesgo por cambio climático en el sector de la minería

Para la aplicación de la expresión que sintetiza los riesgos (posibles impactos) por cambio climático en la minería es necesario considerar las dimensiones identificadas en cada uno de los segmentos de la actividad y evaluar la amenaza y la vulnerabilidad para cada uno de ellos.

La amenaza que el cambio climático representa en las diferentes dimensiones de los segmentos de la minería, es el efecto adverso para quienes se ocupan de la actividad, limitante de las operaciones y de la producción. En la Tabla II.1 se presenta una síntesis de las principales amenazas del cambio climático al sector minero.

DIMENSIONES =>	OPERACIÓN	RECURSOS	INFRAESTRUCTURA	HABITAT HUMANO	RELACIONAMIENTO TERRITORIAL
SEGMENTOS					
EXPLORACIÓN					
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE					
EXPLOTACIÓN					
COMERCIALIZACIÓN					
CIERRE Y ABANDONO					

En el caso de la vulnerabilidad, la estimación de la sensibilidad y de la capacidad adaptativa sectorial se obtiene a partir de información de variables específicas para cada una de las dimensiones. La lista de variables se presenta en la Tabla II.2



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Referencias Bibliográficas

Herrán, O., Bonilla, J., Velandia, N., Jiménez, D., Martínez, H., Alfonso, M., López, O., Martínez, P., Teherán, R., Barragán, N., & Meneses, R. (2021). Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos relacionados con drenajes ácidos mineros (DAM) (GGC-468-2020). Ministerio de Minas y Energía, Dirección de Minería Empresarial, Asesorías Técnicas Geológicas ATG Ltda.

J. Ángel, M. Ordoñez, J. Olivero, C. Echavarría, H. Ayala, M. Cabrera. (2019). Consideraciones sobre la minería en el departamento del Chocó y recomendaciones para mejorar la gestión. Geopatrimonio – Universidad de Cartagena - IIAP - WWF. Páginas 58. Cali – Colombia.

PARTE III

Metodología de análisis de riesgos por cambio climático en el sector de energía



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



III.1 Introducción

El contrato 1113 suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) – (Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía), tiene como objeto *“Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático 2050”*. En ese sentido, se estableció el compromiso de desarrollar de una serie de actividades, y la generación de productos que se organizan en el marco de este proyecto. Como parte de estas acciones, se desarrolló una reunión técnica con actores del subsector hidrocarburos, el día 21 de noviembre del 2025, con el fin de construir la base conceptual de la relación del sector minero-energético.

En el cumplimiento de lo establecido en el contrato, el PRODUCTO 8, según la minuta del convenio, consiste en la *“Evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgos en los componentes del sector minero energético y en las dimensiones territoriales asociadas al cambio climático para fundamentar estrategias y acciones de adaptación sectorial al cambio climático”*. Como parte del producto 8 se encuentra el desarrollo de un marco conceptual de la relación clima – sector minero energético. El presente documento presenta aspectos de dicha relación a partir de la influencia del clima en el subsector energía y de los impactos del cambio climático en el mismo, como aporte a la construcción del marco conceptual del producto 8, utilizando como insumo los resultados obtenidos en la reunión técnica celebrada con actores del sector.

Las bases para la generación de este marco conceptual han sido: encuesta realizada a actores del sector, análisis en reunión técnica con diferentes actores del sector (resumen efectuado por Jessica

Quiroga y Carlos Arturo Guzmán), entrevista con la experta en el tema Ana María Ramírez, reuniones con Juliana Chaparro y Dany Ortiz, funcionarios del Ministerio de Minas y Energía.

III.2. La influencia del clima en el subsector energía

El clima juega un papel influyente en las distintas etapas o fases de la línea de producción de energía (Figura 1). De esta manera, el clima incide en diferentes aspectos del proceso relativo a la industria energética (ya sea térmica, hidroeléctrica, geotérmica, eólica y solar), desde la generación hasta la comercialización, variables como la temperatura y la precipitación, junto con sus fases extremas (las cuales regulan la ocurrencia de eventos extremos y la disponibilidad de agua) pueden limitar o favorecer la operatividad y eficiencia de las actividades del sector, generando variaciones en costos, tiempos, cantidades de producción y por ende en la capacidad de abastecimiento de la demanda.

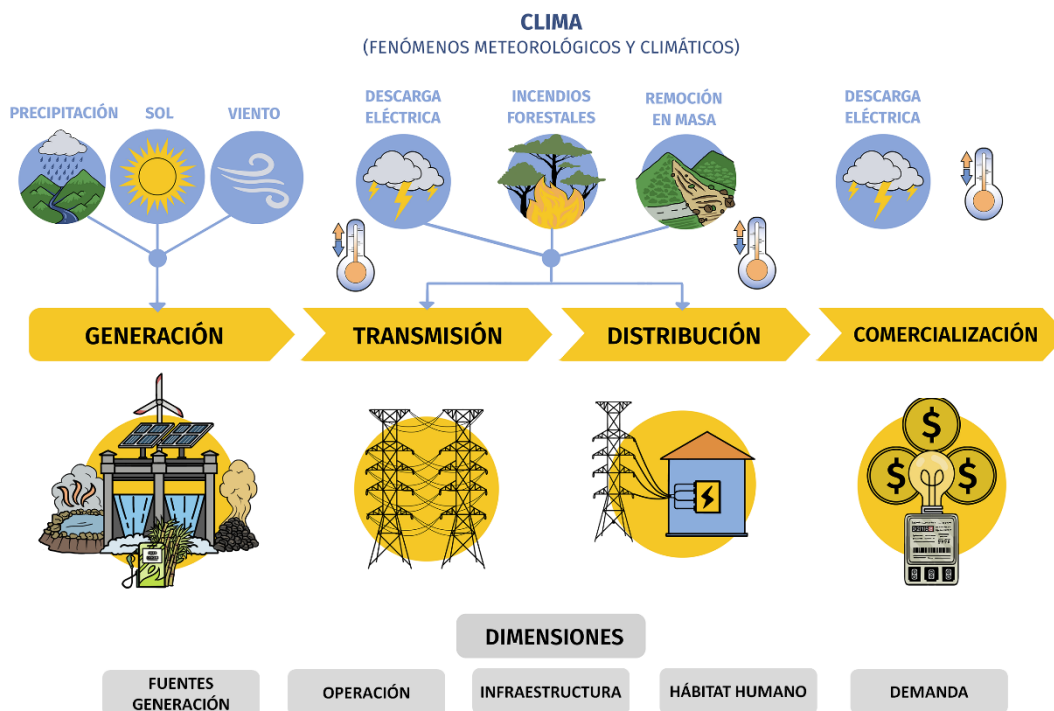


Figura III.1. Representación esquemática de la influencia del clima en diferentes fases de la cadena de producción de energía

A continuación, se detallan la relación entre el clima en las diferentes fases de la línea de producción del sector energía:

- **Generación:** el clima regula la disponibilidad de agua para la generación de energía eléctrica; la variabilidad climática y sus fases extremas incide en el porcentaje de generación de energía. Por ejemplo, las condiciones de viento, radiación solar y precipitación pueden favorecer o limitar la producción de energía hidroeléctrica, fotovoltaica y eólica, ya sea por aumento o disminución del caudal de río y niveles de los embalses, así como por la cantidad de radiación solar del territorio que a su vez también se relaciona con la demanda energética de la población dependiendo de eventos como olas de calor. De esta manera, las fases extremas de la variabilidad climática (fenómeno del Niño y la Niña) sumado a una demanda energética que fluctúa de acuerdo con el comportamiento del clima y la incidencia de fases extremas de la variabilidad climática, incidirá en la capacidad de generación para la capacidad de cobertura de la demanda.
- **Transmisión:** el clima también influye en la operatividad de la infraestructura de las líneas de transmisión. Tanto en condiciones normales como en fases extremas de la variabilidad climática, la ocurrencia de fenómenos extremos como incendios y olas de calor impactan en la infraestructura de transmisión, limitando el potencial de transmisión de los diferentes tipos de energía eléctrica. Por ejemplo, la temperatura afecta la resistividad de los materiales conductores, mientras que la alta humedad puede comprometer el aislamiento de las líneas. Además, eventos como lluvias intensas o acumulación de hielo pueden modificar la eficiencia del transporte de energía
- **Distribución:** al igual que en la transmisión, la relación entre el clima y la fase de distribución, se centra en la incidencia de las fases extremas de la variabilidad climática a partir de fenómenos extremos que impactan la línea de distribución, desde las subestaciones hasta los puntos o estaciones de carga. Por ejemplo, descargas eléctricas, incendios o cambios extremos de la temperatura pueden alterar la resistividad o capacidad de los conductores eléctricos al paso de corriente eléctrica. Esto se debe a que la resistividad de un conductor es directamente proporcional con el aumento de la temperatura, *“ya que los átomos aumentan la amplitud de su vibración en torno a sus posiciones de equilibrio; con lo cual, obstaculiza el movimiento de la gran cantidad de electrones libres que posee el material conductor”* (García, 2006).
- **Comercialización:** Las características climáticas de una región influyen directamente en los patrones de consumo de energía. La demanda tiende a incrementarse durante períodos de bajas temperaturas debido al mayor uso de sistemas de calefacción, y en épocas de altas temperaturas por el aumento en el uso de sistemas de refrigeración. La disponibilidad de recursos energéticos también se ajusta a estas variaciones climáticas, regulando la oferta y los costos de comercialización para los usuarios.

III.3 Los impactos del cambio climático en el subsector energía.

A partir de las relaciones expuestas en el capítulo anterior entre el clima y el subsector energético, se evidencia que los fenómenos climáticos extremos impactan diversos aspectos de las distintas fases de la línea de producción y distribución de la energía. En el contexto actual y futuro del cambio climático, podría ocurrir que estos impactos se intensifiquen debido al aumento de la temperatura, la variabilidad en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos. De esta manera, el cambio climático podría alterar la disponibilidad de recursos clave para la generación de energía, impactando la infraestructura de transmisión y distribución, e incidir en la demanda y los costos de la energía. A continuación, se resumen los principales impactos del cambio climático en cada una de las fases de las fases de producción del sector energético.

- **Generación:** El cambio climático podría afectar diversas fuentes de generación de energía. En el caso de las hidroeléctricas, la disminución de la precipitación y la variabilidad en la disponibilidad hídrica pueden comprometer la capacidad de generación de energía, y aumentar los conflictos por el uso del agua con otros sectores. En el caso de las plantas térmicas, el incremento en la temperatura reduce la eficiencia de los sistemas de refrigeración, lo que aumenta el consumo de agua y energía para mantener la operación. En cuanto a las fuentes renovables, las altas temperaturas pueden afectar el rendimiento de los paneles solares, reduciendo su vida útil y eficiencia, mientras que las alteraciones en los patrones de viento pueden afectar la generación eólica, modificando la capacidad operativa de los parques eólicos, afectando la generación y en consecuencia, aumentando la intermitencia en el suministro.
- **Transmisión:** El incremento de las temperaturas y las olas de calor pueden provocar la dilatación de las líneas de transmisión, reduciendo su capacidad de transporte de electricidad y aumentando la posibilidad de fallos en la infraestructura. Además, el incremento en la frecuencia de eventos como tormentas y vendavales puede generar afectaciones directas en las torres de transmisión, incrementando el riesgo de interrupciones en el suministro.
- **Distribución:** Los cambios en los patrones climáticos extremos, como el aumento en la intensidad de tormentas eléctricas, vendavales e inundaciones, pueden impactar la infraestructura de distribución, afectando redes de media y baja tensión, estaciones transformadoras y subestaciones. Adicionalmente, el incremento de la temperatura puede sobrecargar los transformadores y reducir su eficiencia operativa, generando costos adicionales de mantenimiento y reposición.
- **Comercialización:** El aumento de las temperaturas altera los patrones de consumo energético, generando una mayor demanda en periodos de calor extremo debido al uso intensivo de sistemas de climatización, lo que puede afectar la estabilidad del suministro. A su vez, los cambios en la oferta de generación eléctrica, asociados a variaciones en la disponibilidad de recursos hídricos y térmicos, pueden generar fluctuaciones en los precios

de la energía, afectando la competitividad del sector y la estabilidad del mercado energético.

III 4 Marco metodológico para abordar el análisis de riesgo por cambio climático en el sector de energía

Los riesgos (posibles impactos) por cambio climático en el sector de energía se estima para las dimensiones identificadas en cada uno de los segmentos de esta actividad, evaluando la amenaza y la vulnerabilidad para cada uno de ellos.

La amenaza que el cambio climático representa en las diferentes dimensiones de los segmentos de la energía, es el efecto adverso para quienes se ocupan de la actividad, limitante de las operaciones y de la producción de energía. En la Tabla III.1 se presenta una síntesis de las principales amenazas del cambio climático al sector de la energía.

DIMENSIONES =>	OPERACIÓN	RECURSOS	INFRAESTRUCTURA	HABITAT HUMANO	RELACIONAMIENTO TERRITORIAL
SEGMENTOS					
EXPLORACIÓN					
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE					
EXPLOTACIÓN					
COMERCIALIZACIÓN					
CIERRE Y ABANDONO					

En el caso de la vulnerabilidad, la estimación de la sensibilidad y de la capacidad adaptativa sectorial se obtiene a partir de información de variables específicas para cada una de las dimensiones. La lista de variables se presenta en la Tabla III.2

Referencias Bibliográficas



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



Ciscar, J.C., Dowling, P., (). Integrated assessment of climate impacts and adaptation in the energy sector. *Energy Economics* 46 (2014) 531–538

García-Carmona, A. (2006). Influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales: Análisis de su comprensión y dificultades de aprendizaje. *Investigações em Ensino de Ciências*, 11(1), 67-83.

Mideksa, T.K., Kallbekken, S. (2010). The impact of climate change on the electricity market: A review. *Energy policy*. 8(2010)3579–3585

OLADE (2016). Cambia la energía, cambia el clima. Cambio climático y su impacto en el sector energético. Organización Latinoamericana de Energía. Cuenca-Ecuador, 20 p.

Teotónio, C., Fortes, P., Roebeling, P., Rodriguez, M., Robaina-Alves, M. (2017). Assessing the impacts of climate change on hydropower generation and the power sector in Portugal: A partial equilibrium approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74 (2017) 788–799

PARTE IV

Metodología de análisis de riesgos por cambio climático en el sector de hidrocarburos



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



IV.1 Introducción

El contrato 1113 suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) – (Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía), tiene como objeto *“Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático 2050”*. En ese sentido, se estableció el compromiso de desarrollar de una serie de actividades, y la generación de productos que se organizan en el marco de este proyecto. Como parte de estas acciones, se desarrolló una reunión técnica con actores del subsector hidrocarburos, el día 21 de noviembre del 2025, con el fin de construir la base conceptual de la relación del sector minero-energético.

En el cumplimiento de lo establecido en el contrato, el PRODUCTO 8, según la minuta del convenio, consiste en la *“Evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgos en los componentes del sector minero energético y en las dimensiones territoriales asociadas al cambio climático para fundamentar estrategias y acciones de adaptación sectorial al cambio climático”*. Como parte del producto 8 se encuentra el desarrollo de un marco conceptual de la relación clima – sector minero energético. El presente documento presenta aspectos de dicha relación a partir de la influencia del



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



clima en el subsector hidrocarburos y de los impactos del cambio climático en el mismo, como aporte a la construcción del marco conceptual del producto 8, utilizando como insumo los resultados obtenidos en la reunión técnica celebrada con actores del sector.

Las bases para la generación de este marco conceptual han sido: encuesta realizada a actores del sector, análisis en reunión técnica con diferentes actores del sector (resumen realizado por Jessica Quiroga y Carlos Arturo Guzmán), entrevista con el experto en el tema Fernando Aranguren, reuniones con Juliana Chaparro y Danys Ortiz, funcionarios del Ministerio de Minas y Energía.

IV.2. La influencia del clima en el subsector hidrocarburos

El clima influye en las distintas etapas o fases de la línea de producción (Figura 1). Esta relación también depende de otros factores, como la escala de operación (ya sea grande o pequeña escala) y los métodos de extracción, los cuales están determinados por características como el tipo de suelo o el estado de agregación del hidrocarburo. De esta manera, el clima incide en diferentes aspectos del proceso productivo de los hidrocarburos como sector económico. Desde la exploración hasta la comercialización, variables como la temperatura y precipitación, junto con sus fases extremas (las cuales regulan la ocurrencia de eventos extremos y la disponibilidad de agua) pueden limitar o favorecer la operatividad y eficiencia de las actividades del sector, generando variaciones en costos, tiempos de producción y sostenibilidad de los proyectos.

CLIMA

(FENÓMENOS METEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS)

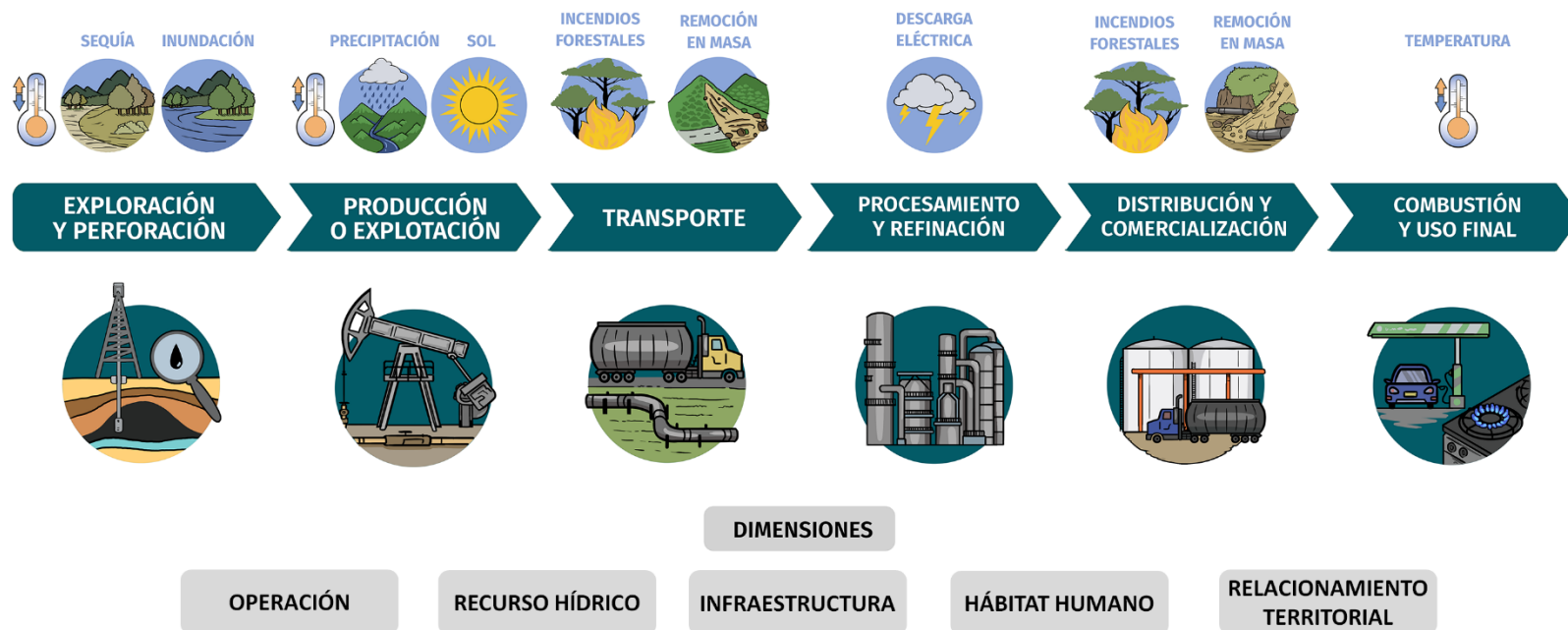


Figura 1. Representación esquemática de la influencia del clima en diferentes fases de la cadena de producción de hidrocarburos

A continuación, se detallan los efectos del clima en las diferentes fases de la línea de producción de los hidrocarburos:

- **Exploración y producción:** El clima regula la disponibilidad de agua para los diferentes procesos de la exploración y producción como las actividades domésticas en campamentos, la perforación, la fracturación hidráulica y la recuperación mejorada de petróleo (EOR - Enhanced Oil Recovery) Esto repercute tanto en los tiempos estimados de exploración y operación, en las condiciones de riesgo laboral del personal de campo y en los costos generales de la actividad operativa. Dependiendo la época del año, el clima (tanto en condiciones normales como en fases extremas de la variabilidad climática) influye en factores clave del proceso productivo. Por ejemplo, las condiciones de temperatura y precipitación pueden favorecer o limitar la perforación y la instalación de geófonos en la exploración sísmica, así como la instalación de la torre de perforación, campamentos y piscinas de lodos en procesos de perforación exploratoria. Además, la temperatura influye en la eficiencia de los procesos de separación de hidrocarburos, impactando el consumo energético necesario para estos procedimientos. En el caso de hidrocarburos extraídos en plataformas marinas, la saturación de agua en el gas varía según la temperatura, lo que puede afectar la calidad del recurso y requerir ajustes en los procesos de tratamiento.

Asimismo, el clima en el territorio, determina las condiciones bioclimáticas que favorecen el desarrollo de cultivos energéticos como la caña de azúcar y la palma africana, empleados para la producción de etanol, biodiésel y combustibles sostenibles de aviación. El rendimiento óptimo de éstos bioenergéticos depende en gran medida de las condiciones de humedad y temperatura durante las diferentes etapas fenológicas de las plantas. Asimismo, las fases extremas de la variabilidad climática impactan en la producción y costos de la cantidad de biomasa producida.

- **Distribución:** el clima proporciona las condiciones para que las estaciones de servicio y las redes de servicio funcionen de acuerdo con las condiciones promedio de temperatura, precipitación y vientos. Dentro de las características climáticas de una región se pueden presentar eventos extremos como fuertes vientos que ocasionan vendavales, altas temperaturas, sequías y lluvias intensas, lo que puede afectar la infraestructura y el proceso de distribución, generando interrupciones o daños en los sistemas de transporte y almacenamiento de hidrocarburos.
- **Abastecimiento:** el clima también incide en la operatividad de terminales portuarias y la logística marítima de importación y exportación de hidrocarburos. Tanto en condiciones normales o en fases extremas de la variabilidad climática el consumo de combustibles puede variar en distintas regiones del país, situación que puede afectar la capacidad de

abastecimiento. De la misma manera, la infraestructura de almacenamiento requerida para el abastecimiento se encuentra condicionada por las condiciones de humedad y temperatura, ya que estas variables inciden en los volúmenes de almacenamiento y en la conservación del recurso.

- **Comercialización:** la comercialización y el abastecimiento se encuentran estrechamente relacionadas, toda vez que las características climáticas de una región influyen en las condiciones que regulan la demanda de hidrocarburos, y por ende en su suministro. Por ejemplo, variaciones extremas en la temperatura, tienen una incidencia directa con la demanda de productos como el gas natural y la gasolina. Ahora bien, la comercialización está vinculada a la calidad del producto, la cual se puede mantener o deteriorar debido a condiciones de temperatura y humedad externa a lo largo de las demás fases de la línea de producción (a excepción del cierre), influyendo en última instancia en los márgenes de ganancia.
- **Transporte:** el transporte de hidrocarburos se realiza a través de diversas rutas que incluyen oleoductos, gasoductos, transporte terrestre, fluvial, ferroviario y marítimo (ANDI-ANH,2009, p.9), cada una de las cuales está influenciada por las condiciones climáticas. La distribución geográfica de los distintos tipos de clima, junto con la ocurrencia de eventos hidroclimáticos e hidrometeorológicos extremos, inciden en la disponibilidad temporal de estos medios a través de las cuales se movilizan los hidrocarburos, así como las características físico-químicas del material transportado, y la continuidad del suministro. Por ejemplo, el transporte terrestre o los ductos pueden verse afectados por la ocurrencia de eventos hidroclimáticos e hidrometeorológicos extremos en las vías, mientras que las variaciones de la temperatura influyen en la evaporación de combustibles, alterando sus características de viscosidad y su calidad. De este modo, estas condiciones influenciadas por el clima afectan tanto la eficiencia del transporte, los costos operativos y la seguridad en la cadena de suministro.
- **Cierre y abandono:** el clima ofrece las condiciones que regulan los procesos de revegetalización y restauración ecológica en las áreas de cierre y abandono de proyectos hidrocarbúricos; si las especies seleccionadas para la revegetalización son las apropiadas para la región, el adecuado desarrollo de las fases fenológicas de estas especies dependerá de las condiciones de temperatura y humedad en cada momento. Condiciones climáticas adecuadas pueden favorecer la regeneración natural, mientras que eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas o lluvias intensas, pueden dificultar la recuperación del área intervenida.

IV.3 Los posibles impactos del cambio climático en el subsector hidrocarburos.

En el largo plazo se presentará la modificación paulatina de las condiciones climáticas de cada territorio mundial, conocido como cambio climático. Dicha modificación también afectará el territorio colombiano. Esto afectará las actividades productivas sectoriales, entre ellas, la producción de hidrocarburos. De esta manera, se prevé un aumento de la temperatura, alteraciones en los patrones de precipitación y una intensificación de los efectos negativos por fases extremas de la variabilidad climática (CAR-UNAL, 2024, p. 30).

A continuación, se resumen los impactos del cambio climático en cada una de las fases de la línea de producción de hidrocarburos:

- **Exploración y producción:** el incremento en la frecuencia y duración de sequías exacerba la escasez hídrica, impactando procesos clave como la fracturación hidráulica, la recuperación mejorada de petróleo (EOR) y la inyección de agua en pozos. Esta situación también limitaría las actividades operativas y domésticas en los campamentos y podría fomentar conflictos por el uso del agua en territorios donde es compartida con otros actores como comunidades locales u otros sectores económicos.
- Por otro lado, el aumento progresivo de las temperaturas elevaría los riesgos laborales, aumentando la incidencia de como golpes de calor en el personal, además de generar mayores costos operativos debido al mayor consumo energético necesario para separar hidrocarburos. En el caso de operaciones offshore, la calidad del gas extraído se ve comprometida por la variación en la saturación de agua asociada al aumento térmico, lo que exige tratamientos adicionales y reprocesamientos.
- Además, en zonas susceptibles a inundaciones, como algunas regiones de llanura, como en la Orinoquía, sabanas caribeñas y valles interandinos, entre otras, la exacerbación de las fases extremas de la variabilidad climática puede repercutir en el incremento de desastres de este tipo. Por otro lado, los periodos de lluvia prolongados favorecen enfermedades en las plantas, como la pudrición del cogollo en la palma africana, lo que puede causar reducción en los rendimientos de la biomasa y generar problemas de abastecimiento y costos de bioenergéticos, afectando tanto la disponibilidad como la estabilidad de esta fuente energética.
-
- **Distribución:** el cambio en la frecuencia de vientos fuertes que ocasionan vendavales impacta en la infraestructura de distribución, incluyendo estaciones de servicio y redes de tuberías, lo que puede interrumpir el suministro continuo de los recursos derivados de hidrocarburos. Esta situación podría verse exacerbada bajo un escenario de cambio climático donde la recurrencia de estos fenómenos sea mayor. Por otro lado, el incremento de las temperaturas acelera la evaporación de hidrocarburos lo que impacta en la merma por evaporación del combustible en las estaciones de servicio, generando mayores emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV).

- **Abastecimiento:** El aumento de las temperaturas en distintas regiones puede generar un incremento en el consumo de combustibles, lo que podría generar tensiones en la capacidad de abastecimiento. Además, el incremento en las temperaturas acelera la evaporación de los combustibles en los tanques de almacenamiento, alterando su viscosidad, y dificultando su manipulación y transporte. Estos factores pueden afectar la eficiencia operativa y aumentar los costos y ganancias asociadas con la comercialización. Por otro lado, el incremento en la frecuencia de eventos extremos como lluvias intensas podrían desencadenar la ocurrencia de movimientos en masa, incrementando la ocurrencia de accidentes y derrames que comprometen la integridad de los tanques de almacenamiento.
- **Comercialización:** Como se mencionó en la fase anterior, los cambios físico-químicos en los productos hidrocarburíferos, resultado del aumento de la temperatura del aire, puede generar afectaciones en la estabilidad de la cadena de suministro, afectando la estabilidad de los mercados y provocando pérdidas económicas estimadas para un volumen determinado de hidrocarburos.
- **Transporte:** Las altas temperaturas pueden provocar la dilatación de los oleoductos, afectando su integridad estructural y aumentando la probabilidad de ocurrencia de fugas. Además, la evaporación de hidrocarburos en los tanques de transporte, especialmente durante períodos de calor extremo, incrementa tanto las pérdidas económicas como la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Por otro lado, eventos climáticos extremos como inundaciones, lluvias torrenciales y deslizamientos de tierra generan interrupciones en las rutas de transporte terrestre y ferroviario, afectando los tiempos de entrega y aumentando los costos logísticos. En el transporte marítimo, la intensificación y aumento de frecuencia de tormentas puede obligar a realizar desvíos o implementar medidas adicionales de seguridad, lo que incrementa los costos operativos.
- **Cierre y abandono:** la exacerbación de las fases extremas de la variabilidad climática, como lluvias intensas y sequías prolongadas, dificultan los procesos de restauración ecológica en áreas de cierre y abandono de proyectos de hidrocarburos. La erosión acelerada por lluvias torrenciales dificulta la revegetalización, mientras que la acumulación de agua en fases tempranas de las plántulas podría ahogar a los individuos; así mismo el estrés hídrico en individuos arbóreos sumado al incremento de temporadas de calor, provocan el marchitamiento vegetal.

Un aspecto transversal que involucra todas las fases, se trata de la infraestructura requerida para las operaciones del sector. Esta se puede ver afectada de distintas formas, con el cambio paulatino en los patrones de precipitación, el aumento de la temperatura y la variación de las fases extremas de la variabilidad climática. Fenómenos como olas de calor, sequías prolongadas

y cambios en la cantidad de agua disponible para las diferentes operaciones, así como eventos como inundaciones o remociones en masa, pueden ocasionar daños significativos en los distintos tipos de infraestructura del sector, incrementando su vulnerabilidad a incidentes como derrames, fallos estructurales y limitaciones en la continuidad del suministro de hidrocarburos y productor derivados.

IV.4 Marco metodológico para abordar el análisis de riesgo por cambio climático en el sector de energía

Los riesgos (posibles impactos) por cambio climático en el sector de hidrocarburos se deben analizar para las dimensiones identificadas en cada uno de los segmentos de esta actividad, estimando la amenaza y la vulnerabilidad para cada uno de ellos.

La amenaza que el cambio climático para las diferentes dimensiones de los segmentos de la producción de hidrocarburos, es el efecto adverso para quienes se ocupan de la actividad, que también limita las operaciones y la producción de este sector. En la Tabla IV.1 se presenta una síntesis de las principales amenazas del cambio climático al sector de la energía.

DIMENSIONES =>	OPERACIÓN	RECURSOS	INFRAESTRUCTURA	HABITAT HUMANO	RELACIONAMIENTO TERRITORIAL
SEGMENTOS					
EXPLORACIÓN					
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE					
EXPLOTACIÓN					
COMERCIALIZACIÓN					
CIERRE Y ABANDONO					



Contratos GGC 1113-2024 y GGC 1949-2025

Suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Prestar servicios para apoyar el desarrollo de las actividades priorizadas de mediano y largo plazo contenidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático 2050” y “Prestar Servicios de investigación Científica para la actualización del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático PIGCCme 2050 a través de la implementación del Sistema de Información Climática del MME”



En el caso de la vulnerabilidad, la estimación de la sensibilidad y de la capacidad adaptativa sectorial se obtiene a partir de información de variables específicas para cada una de las dimensiones. La lista de variables se presenta en la Tabla III.2

Referencias Bibliográficas

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI, & Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH. (2009). La cadena de hidrocarburos: una oportunidad para la industria colombiana. Bogotá: Autores.

CAR-DGOAT, UNAL- Geografía, Pabón-Caicedo, J.D., Carvajal-Vanegas, A.F., Armenta-Porras, G.E., Martínez, J.A., Camacho, J.C., Guerrero-Castelblanco, L., Celis-Gil, L.V., Cusgüen-Castro, L.F., Céspedes -Romero, M.P., Ortiz- Olarte, D.W., Peña-Beltrán, Z.Y., González-Daza, W., Sánchez-Rojas, G., Osorio-Bustamante, E., Mora-Linares, J.T., Riaño-Acosta, W.O., Jiménez-Vergara, J.M., Guzmán-García, C.A., Farfán- A.spina, K.L., Pongutá-Buitrago, L.M., Báez-Caballero, M.E., Giraldo-Vieira, C., García-Gómez, A.M., López-Cleves, J.A., Sabogal-Ardila, L.M., Garzón-Rodríguez, A.S., J.D. Acosta-Romero (2024). El cambio climático en la cuenca del río Bogotá:amenaza, vulnerabilidad, riesgo y adaptación. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – Universidad Nacional de Colombia. Convenio 3702 CAR-UNAL. Bogotá D.C.