



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Boletín Ambiental

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

191

mayo de
2022

La crisis climática

IDEA

Instituto de Estudios Ambientales

La crisis climática

Jorge Julián Vélez Upegui
Ingeniero Civil, Ph.D. en Planificación y Gestión de Recursos Hidráulicos
Profesor Departamento de Ingeniería Civil
Investigador IDEA
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
jjvelezu@unal.edu.co

Para descargar el boletín:

▶ [Http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html](http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html)

El efecto invernadero (EI) se presenta de forma natural en todos los planetas que cuentan con una atmósfera y responde a un ciclo natural, en el cual, algunos gases presentes en la atmósfera son capaces de almacenar radiación de onda larga (calor), evitando que la energía recibida del Sol vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero y elevando la temperatura, por lo que son denominados gases efecto invernadero (GEI).

El Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC), conformado por las Naciones Unidas desde el siglo pasado, vincula a un grupo de expertos de todas partes del mundo; en su último informe, considera inequívoco que la humanidad ha alterado la cantidad de GEI emitidos y ha calentado la atmósfera, el océano y la Tierra, lo que ha generado cambios generalizados y rápidos en el planeta en lo que se conoce como calentamiento global o cambio climático (CC), desatando la actual crisis climática (IPCC, 2022; <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>). Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el vapor de agua (H_2O), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el ozono (O_3) y los clorofluorocarburos (CFC), que son los únicos de origen artificial, ya que los demás se producen de forma natural. Una distribución de los GEI por sector y actividad se presenta en la Figura 1. Se destaca que el CO_2 contribuye con el 77 %, y el CH_4 con el 15 %, aunque los efectos del metano son mayores. En general, se ha convenido utilizar una unidad de CO_2 equivalente, para referencia a los GEI, que convierte los efectos de cada GEI en su equivalente en CO_2 , esto para efectos de comunicación y divulgación de los diferentes GEI.

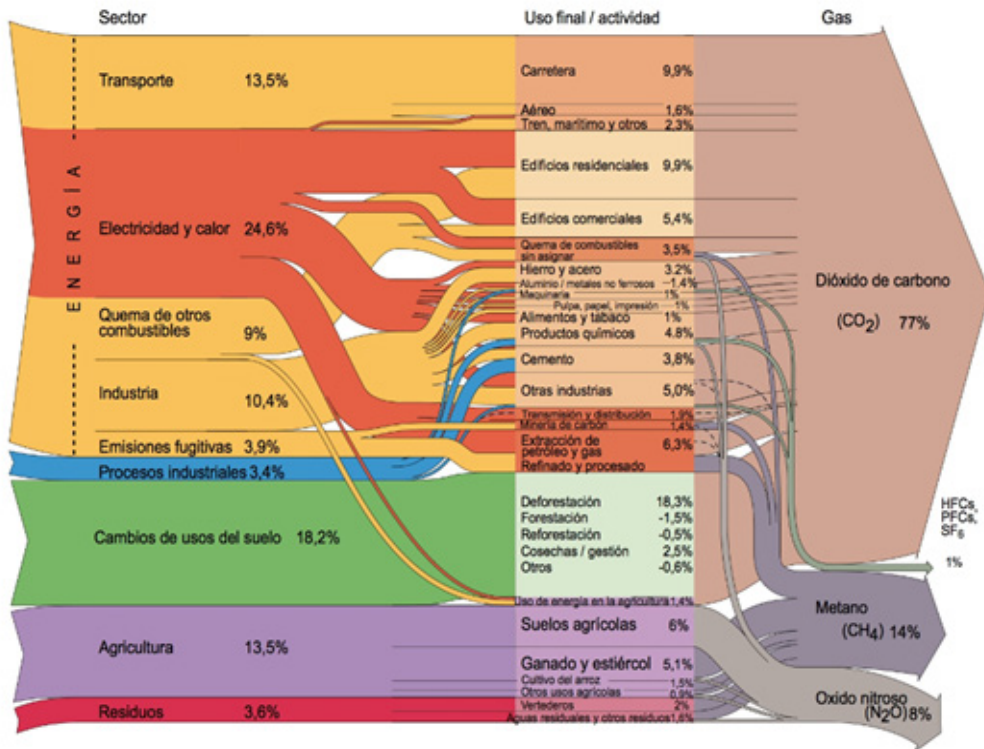


Figura 1. Distribución mundial de las emisiones de los GEI por sector económico y actividad

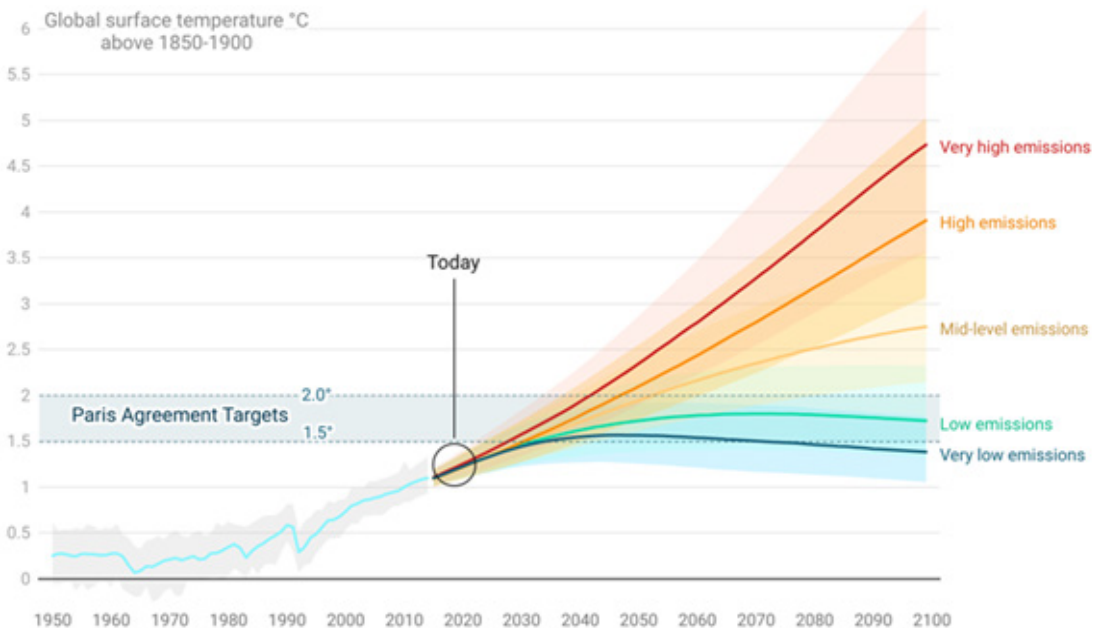
Fuente: http://www.oscc.gob.es/docs/documentos/24.Guia_climaenpeligro.pdf

El uso intensivo de combustibles fósiles en actividades industriales y el transporte han incrementado el NO_x y CO₂ emitido a la atmósfera según el IPCC (2022). Otras actividades humanas como la deforestación han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para absorber el CO₂, principal responsable del efecto invernadero.

En la actualidad, el CC se asocia a calentamiento global por el aumento continuo en la temperatura media mundial durante las últimas décadas. Todas las incertidumbres futuras relacionadas con el CC y el aumento de los GEI han llevado a lanzar una alerta mundial por crisis climática (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD- 2019).

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, -IDEAM- (2015) menciona que el vapor de agua representa alrededor del 50 % del efecto invernadero de la Tierra, y que las nubes contribuyen con el 25 %, el dióxido de carbono con el 20 %, y los GEI menores y los aerosoles con el 5 % restante.

La proyección de las trayectorias de emisiones de gases efecto invernadero hasta el año 2100, según los diferentes escenarios, que son el resultado de la ejecución de varios modelos climáticos mostrados en el Informe del IPCC se presenta en la Figura 2; van desde emisiones muy altas (rojo) hasta emisiones bajas (azul), siendo el patrón observado recientemente el que se ajusta a los escenarios altos y muy altos, lo cual plantea la pregunta sobre el verdadero compromiso de los países y cuál es la estrategia a seguir para lograr el ajuste futuro hacia los escenarios de bajas emisiones.



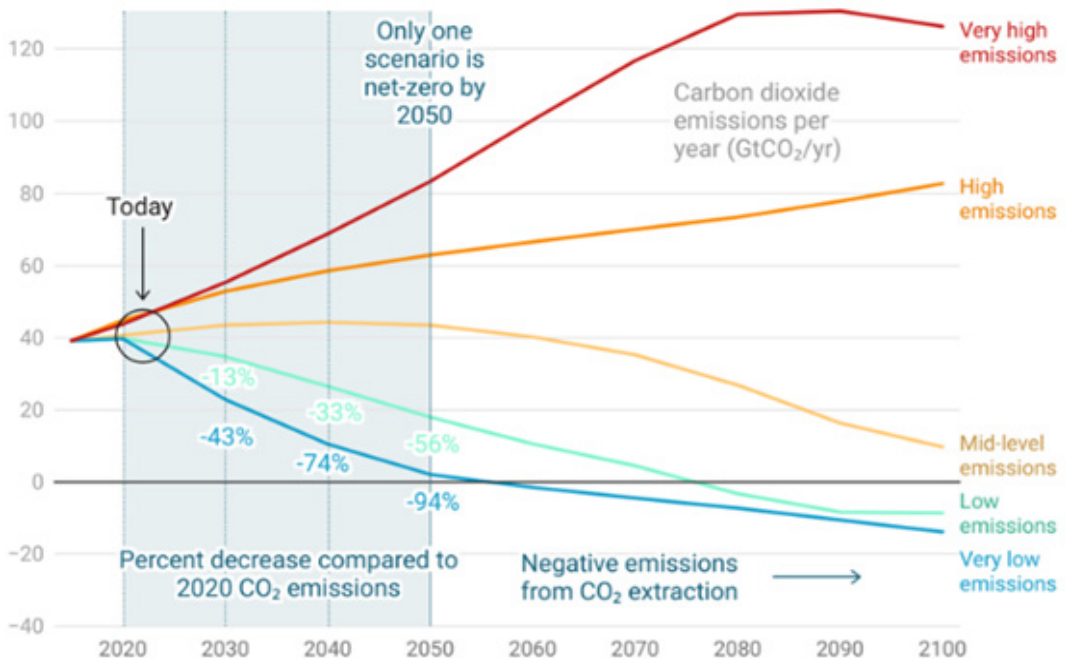


Figura 2. Proyección de la temperatura hasta el año 2100 de los diferentes escenarios de CC (arriba) y emisiones de CO₂ por año (abajo) según el IPCC
Fuente: Duncombe (2021)

1. Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París

El Protocolo de Kyoto (1997) es un convenio internacional que intenta limitar globalmente las emisiones de los GEI que causan calentamiento global. El Protocolo surge de la preocupación internacional por el calentamiento global que podría incrementar las emisiones descontroladas de estos gases, pero inicialmente no lo suscribieron los países que son grandes emisores de GEI. Anualmente, los países que han ratificado los acuerdos realizan las Conferencias de las Partes (COP), mediante una

Cumbre Anual organizada por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en la cual se toman decisiones por consenso.

Los acuerdos climáticos consideran un aumento de 2 °C para el final del siglo XXI, pero la evidencia creciente sugiere que se deben mantener las temperaturas en 1,5 °C; con esto, se reducirían el calor extremo, la precipitación y sequía extrema, el aumento del nivel del mar, la pérdida y extinción de especies y la acidificación de los océanos.

El objetivo del Acuerdo de París firmado en 2016 pretende limitar el calentamiento global entre 1,5 °C y 2 °C. Sin embargo, el reporte del IPCC al año 2020 indica que el planeta se ha calentado 1,1 °C en comparación con los niveles preindustriales. En los últimos 100 000 años, la Tierra solo llegó a ser tan cálida hace unos 6500 años, cuando las temperaturas del planeta estaban a la par con las del 2020, pero la diferencia radica en que ese calentamiento fue parte de un ciclo de flujo y reflujo de capas de hielo a partir de la variación natural de la órbita de la Tierra.

Según lo pactado en el Acuerdo de París en diciembre de 2016, Colombia se compromete a reducir en un 20 % las emisiones de GEI para el año 2030; valor confirmado en la reunión del COP26 en Glasgow (2021). Sin embargo, en 2014 las emisiones totales de GEI en el mundo ascendieron a 41 000 Mt de CO₂eq (millones de toneladas de CO₂ equivalentes); Colombia emitió 233,7 Mt de CO₂eq, es decir, el 0,57 % de las emisiones globales de GEI, pero tiene el 0.007 % de la población mundial y presenta tasas altas de deforestación del bosque tropical.

En el ámbito mundial se reconocen dos enfoques para resolver este problema. El primero es la mitigación, que consiste en reducir aproximadamente 51 000 Mt de CO₂eq que son emitidas anualmente, a cero netos para el año 2050. El segundo gran reto es fomentar las estrategias de adaptación a los efectos del cambio climático, que se pueden realizar de diferentes formas según cada país. Todo esto conlleva a cambios importantes en la manera en la que funcionan las economías, pero con un compromiso muy serio de los políticos de todos los países.

Para lograr el objetivo global se requiere que cada país plantee sus propias metas. La Contribución Determinada a Nivel Nacional (National Determined Contribution, NDC por sus siglas en inglés), es el primer paso hacia la carbono-neutralidad y los países se comprometen a presentar un informe cada cinco años sobre las estrategias y metodologías implementadas y lograr su objetivo.

El primer paso es identificar las zonas más vulnerables, para lo cual el IDEAM (2015) ha presentado un diagnóstico del país, y se están desarrollando los diagnósticos locales, que requieren un mayor monitoreo y conocimiento por parte de las autoridades ambientales locales.

Se debe abordar el problema estudiando las temáticas asociadas en cuanto a ciencia y tecnología del cambio climático, con estrategias de educación y proyección social, lo cual exige políticas para su planeación y financiamiento que deben desarrollarse en el corto, mediano y largo plazo.

Por lo tanto, se deben plantear portafolios de medidas de mitigación y adaptación para cada región, que involucren a todos los actores, desde el gobierno, las empresas, las universidades y a las comunidades.

Lo primero es comprender la forma como impacta a cada región el cambio climático, para lo cual se requieren estudios que busquen evidencias para poder comprender sus efectos e impactos y de esta manera proponer las estrategias de adaptación y mitigación.

Aunque Colombia no es un gran emisor de GEI a la atmósfera, se ha comprometido a reducir en un 51 % sus emisiones para el 2030, y para 2050, ser carbono-neutral según lo acordado en París, con el fin de contribuir al mantenimiento de la temperatura de la Tierra por debajo de los dos grados Celsius para finales de siglo.

Según los reportes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia ha planteado una hoja de ruta compuesta por 196 acciones

en su NDC. Aunque la matriz energética es una de las más limpias del mundo, existe una alta dependencia de las fuentes fósiles (carbón, petróleo, gas) para la generación de energía, especialmente a través de plantas térmicas, por lo que se trata de fomentar la diversificación de la matriz energética fortaleciendo la inclusión de fuentes renovables no convencionales como energías eólicas o solares.

La gran riqueza hídrica del país está compuesta por seis nevados, más del 40 % de los páramos de Sudamérica, cinco vertientes hidrográficas, treinta grandes ríos, mil doscientas setenta y siete lagunas y más de mil ciénagas que hacen de Colombia un país de humedales (lvH, 2018). Adicionalmente, más del 70 % de la electricidad que se genera proviene de centrales hidroeléctricas. Sin embargo, el buen manejo del recurso hídrico depende de la crisis climática actual, por lo que, con el creciente aumento de la temperatura global del planeta, es más que necesario encontrar fuentes de energía alternativas para apostar hacia la transición energética por energías renovables y gestionar adecuadamente el recurso hídrico.

La carbono-neutralidad implica que las emisiones netas de un país sean cero. Colombia tiene una fuente importante de emisiones asociadas a temas forestales, por lo que se debe reducir la deforestación neta a cero, para 2030.

Se debe trabajar de forma conjunta con todos los ministerios, por ejemplo, con el Ministerio de Minas y Energía para el incremento del uso de fuentes renovables no convencionales; con el Ministerio de Vivienda para establecer metas asociadas al manejo de los residuos sólidos y de las aguas residuales domésticas; con el Ministerio de Agricultura implementar estrategias para una ganadería sostenible y aumentar las plantaciones forestales; con el Ministerio de Comercio fomentar la eficiencia energética en industrias, y pequeñas y medianas empresas; con el Ministerio de Hacienda favorecer las estrategias políticas de reducción de impuestos a quienes cumplan metas de carbono-neutralidad; con el Ministerio de Relaciones Exteriores para buscar y coordinar los apoyos

de cooperantes internacionales y con el Ministerio de Transporte el uso de vehículos eléctricos y otros medios con menores emisiones GEI a la atmósfera.

El Ministerio de Minas y Energía, por ejemplo, cuenta con un plan de cambio climático que tiene una visión para 2030 con cerca de 120 acciones para una reducción de 11.2 millones de toneladas de CO₂, para contribuir así con el cumplimiento de las metas de la NDC.

La NDC es una meta de todos los colombianos que requiere liderazgo del Gobierno mediante políticas o lineamientos, pero es importante la participación de todos. Desde el sector privado, las empresas tienen el conocimiento y los recursos para fortalecer estos cambios; se necesita la participación activa de las gobernaciones, las alcaldías y las autoridades ambientales que han realizado planes integrales de gestión del cambio climático territorial adecuados a las particularidades de cada región. También es muy importante el rol de la ciudadanía, de la sociedad civil, de las organizaciones no gubernamentales, de las comunidades étnicas, de campesinos, de jóvenes, de mujeres y de la educación en todos los niveles. Finalmente, debe involucrarse a la academia a través de investigaciones que contribuyan a mejorar las estrategias de adaptación y mitigación.

2. Evidencias de cambio climático

La identificación del cambio climático se realiza desde aquellas Ciencias de la Tierra que estudian estructuras que se han conservado durante miles de años. La más lógica es la geología, en donde los diferentes depósitos geológicos identifican condiciones climáticas en la Tierra. Otro caso interesante se tiene con los sedimentos depositados en lagos y lagunas, donde en el depósito, quedan confinadas evidencias de mayores temperaturas que se reflejan por la presencia de fósiles de semillas, diatomeas, y otros indicadores biológicos que dan indicios de cambios en la temperatura y en la composición del CO₂ en la atmós-

fera. Los glaciares también dejan atrapada la configuración del aire al momento de la caída de la nieve, por lo que los sondeos del hielo en la Antártida han servido de estudio del calentamiento. Otra forma de buscar evidencias a menor escala temporal es con los anillos de los árboles, que indican la existencia de estrés hídrico y, por lo tanto, períodos de mayor calentamiento.

La medición y el seguimiento del cambio climático son muy complejos; en nuestro caso nos basamos en evidencias recientes, y la más fácil de observar es la retracción de los glaciares tropicales que han ido retrocediendo debido a un calentamiento global. Para el caso colombiano se aprecia en la Figura 3 el retroceso del glaciar de Santa Isabel (Caldas).

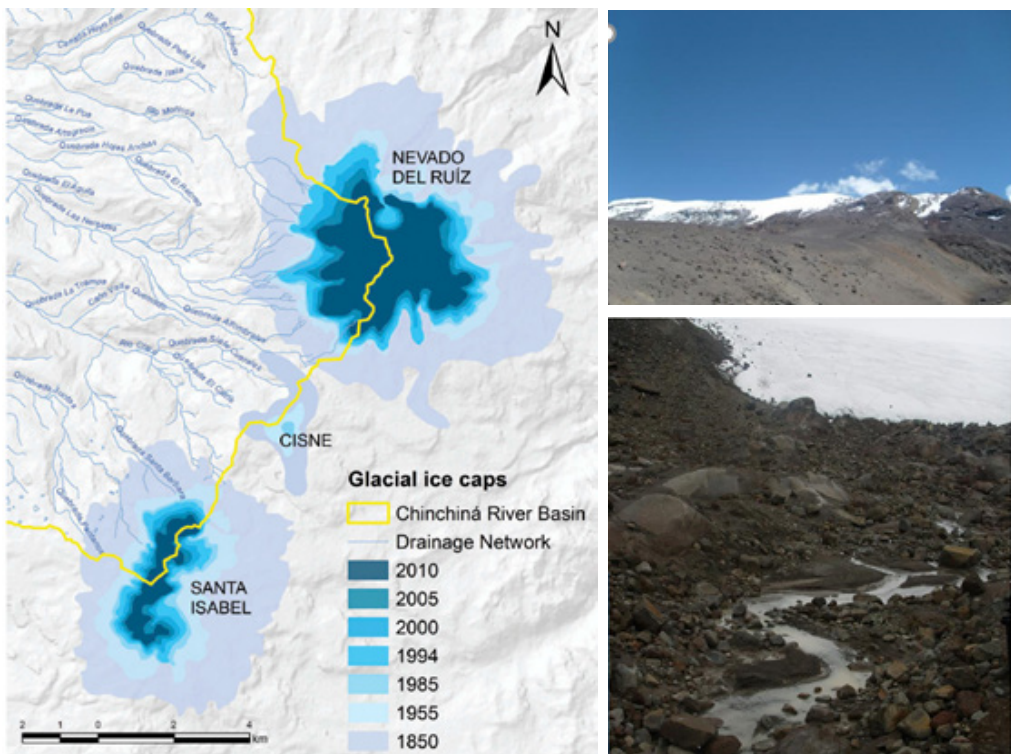


Figura 3. Evidencia de cambio climático en Colombia presentado como el retroceso de los glaciares

Fuente: Marulanda et al. (2016)

Se debe tener cuidado, puesto que solo el indicador del retroceso glaciar no es un indicador suficiente del cambio climático; mirar juntamente toda la información disponible para la zona en la geología, la limnología, los glaciares y los anillos de los árboles para poder llegar a conclusiones más certeras.

El IDEAM (2015) presenta un informe por regiones, y para toda Colombia, de los escenarios de cambio climático en Colombia, presentado por cambios en las lluvias y en las temperaturas, tal como se indica en la Figura 4. Estudios realizados mediante la modelación climática empleando diferentes modelos de circulación global y generando escenarios futuros de temperatura y precipitación para diferentes condiciones iniciales. Estos resultados se obtienen para todo el país por el IDEAM a escala gruesa (IDEAM, 2015).

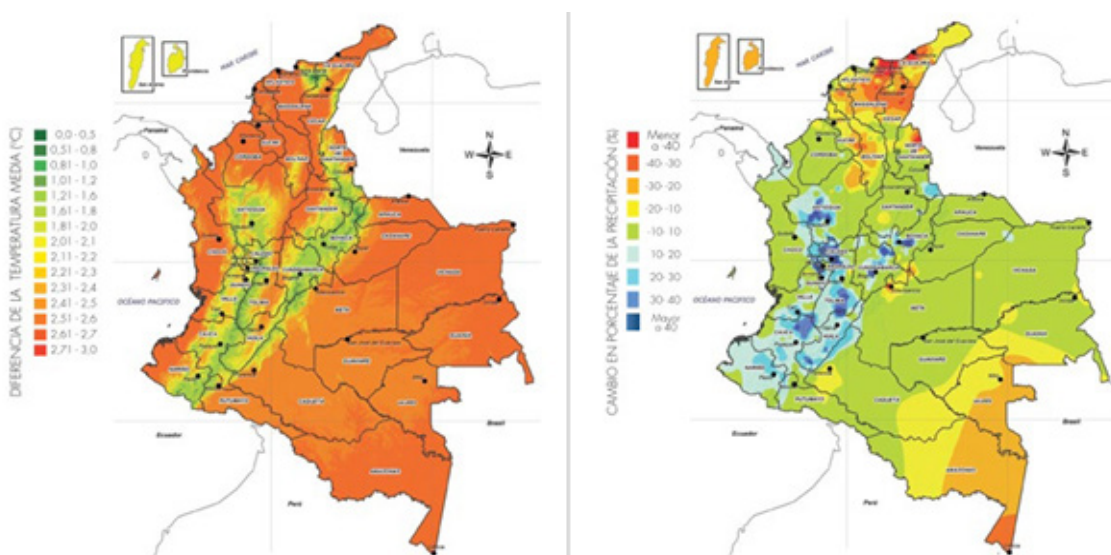


Figura 4. Escenarios cambio climático en Colombia presentado mediante comparación del período 1975-2005 frente a 2071-2100 por cambios en las lluvias y en las temperaturas (IDEAM-UNAL, 2018)

Fuente: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf> (pág. 47)

Se deben realizar estudios a escalas regionales para mejorar la escala espacial de los resultados propuestos por el IDEAM para el país y de esta forma tomar mejores decisiones sobre las estrategias de mitigación y adaptación.

3. Los puntos de no retorno en el cambio climático

El Instituto Potsdam de Investigaciones sobre Impactos Climáticos en Alemania ha simulado más de tres millones de posibles escenarios a distintas temperaturas y ha advertido que el calentamiento global puede disparar los denominados puntos de no retorno o *tipping points*, que son punto de inflexión o puntos críticos, a partir de los cuales los cambios en el sistema terrestre pueden ser abruptos e irreversibles. Adicionalmente, estos puntos de no retorno se generan a partir de un aumento en la temperatura de 2 °C con respecto a la era industrial y pueden desestabilizarse entre sí, creando un efecto dominó en el cambio climático. Se estima que el aumento promedio de temperatura en el planeta ha sido de 1 °C desde 1880, en donde dos terceras partes de ese aumento han ocurrido desde 1975, pero en la región ártica el incremento ha sido el doble.

Es importante destacar que el sistema terrestre está interconectado; la atmósfera, los océanos, los continentes, la vegetación, la biodiversidad y las acciones humanas, todas ellas contribuyen con el equilibrio del clima planetario. Por lo que, en este sistema interconectado, un punto de no retorno puede afectar a otros.

Las proyecciones actuales indican que, si no se toman acciones urgentes, el planeta se encamina hacia un aumento de temperatura superior a 3 °C para fin de siglo. Los cuatro puntos de no retorno o *tipping points*, son el derretimiento del hielo en Groenlandia, los cambios en las corrientes del Atlántico, las modificaciones en la Amazonía y el derretimiento del hielo en Antártida Occidental.

La Figura 5 presenta la interacción desestabilizadora (rojo) o estabilizadora (azul) que se presenta entre los diferentes puntos de no retorno del cambio climático y la importancia de realizar un seguimiento a cada uno de estos puntos.



Figura 5. Ejemplo de los cuatro puntos de no retorno y sus posibles interacciones, efecto desestabilizador (rojo) y estabilizador (azul)
Fuente: Adaptación de Wunderling et al. (2021)

A continuación, se esbozan brevemente los cuatro puntos de no retorno principales.

3.1 Derretimiento del hielo en Groenlandia

Actualmente, se reporta que la masa de hielo de Groenlandia se encoge a un ritmo acelerado debido a una combinación del derretimiento neto en la superficie y el desprendimiento acelerado de icebergs (Boers and

Rypdal 2021). El hielo en Groenlandia se acerca a un punto de no retorno por la retroalimentación positiva entre la reducción en la altura de la masa de hielo y la exposición al aire más cálido en altitudes más bajas, lo que causa mayor pérdida de hielo. Otros factores de retroalimentación:

- El principal es la retroalimentación entre el derretimiento del hielo marino y el calentamiento, puesto que, a mayor calentamiento, más hielo marino se derrite, lo que a su vez causa más calentamiento porque las aguas expuestas liberan calor hacia la atmósfera durante la temporada de frío.
- El factor luz indica que a medida que el hielo se derrite deja al descubierto la superficie del océano. Es decir, el hielo blanco refleja aproximadamente el 70 % de la luz que recibe, mientras que el océano oscuro absorbe la mayor parte de la luz. Sin embargo, dado que el océano tiende a estar cubierto por nubes la mayor parte del tiempo, este efecto se ve disminuido.
- La respuesta de la atmósfera al aumento de CO_2 es diferente en los trópicos y las regiones polares; los frentes y los centros de alta y baja presión en la atmósfera mueven excesos de calor desde los trópicos hacia las regiones polares, y ese transporte de calor se intensifica en un clima más caliente y aún más en el invierno, cuando la amplificación ártica es más fuerte. En los trópicos, las tormentas de lluvia intensas captan aire caliente en la superficie y lo elevan a altitudes mayores, por lo que el calentamiento en la superficie no es tan elevado, mientras que, en el Ártico, que no tiene esas tormentas, cualquier calentamiento en la superficie permanece en superficie.
- Otro factor que influye es el deshielo del permafrost, que son suelos congelados que contienen el doble del carbono de la atmósfera actual, además de grandes cantidades de metano. Esta reserva de carbono congelado permanece estable mientras siga congelado. Pero a medida que el permafrost se deshiele se espera que contribuya crecientemente a las emisiones de CO_2 y metano, causando un mayor calentamiento que llevará a su vez a un mayor deshielo.

Es importante mencionar que esta retroalimentación de la amplificación no se observa en la Antártica, básicamente porque es un continente en lugar de un océano que se derrite en verano y se expande en invierno. Además, el hielo del Antártico tiene kilómetros de grosor, y el hielo del Ártico alcanza las decenas de metros.

3.2 Los cambios en las corrientes del Atlántico

La corriente del Atlántico es un elemento clave del sistema climático terrestre que puede interconectar cambios a miles de km de distancia; se conoce como Atlantic Meridional Overturning Circulation, (AMOC, por sus siglas en inglés) o la Circulación Meridional de Vuelco del Atlántico, más conocida en español como la corriente termohalina del Atlántico, y hace parte de la gran cinta transportadora oceánica o de las corrientes termohalinas que transporta aguas cálidas superficiales hacia el norte y aguas frías en profundidad hacia el sur. En general, las masas oceánicas de agua tropical que es más cálida y van en superficie se dirigen hacia el polo; a medida que avanzan al norte se convierten en aguas frías que son más densas y se hunden, y así circulan de regreso en forma de corriente fría a mayor profundidad. Lo que preocupa, es que todo este sistema de corrientes del Atlántico se ha ralentizado un 15 % desde la mitad del siglo XX; los impactos de cambios mayores en el clima de la Tierra son difíciles de modelar.

3.3 Las modificaciones en la Amazonía

La selva recicla parte de su propia lluvia en un ciclo virtuoso, por lo que si se elimina una parte del bosque tropical llueve menos, lo que alarga la estación seca. Según Nobre y Borma (2009), la estación seca de la selva amazónica es más larga en comparación con 1980 y 3 °C más caliente, y se está perdiendo la capacidad de reciclar su propia agua. Adicionalmente, las áreas deforestadas están perdiendo la capacidad de retirar dióxido de carbono de la atmósfera, un papel importante que los bosques globales desempeñan al retirar hasta un 30 % del CO₂ emitido

por las actividades humanas, y están pasando de ser sumideros a ser fuentes de emisión. La tasa de mortalidad de árboles, ya sea por tala para madera, cambio de uso de la tierra a ganadería o por incendios forestales ha reducido la selva amazónica cerca de un 18 %; cifra que sigue aumentando, siendo un factor que anuncia que no se está lejos de un *tipping point*.

3.4 Derretimiento del hielo en Antártida Occidental

En la Antártida Occidental, los glaciares que más peligran en todo el continente y que amenazan con modificar las costas del planeta son el glaciar Pine Island y su vecino Thwaites. Actualmente, ambos son la entrada a una reserva enorme de agua congelada que, en caso de derramarse en el mar, aumentaría su nivel en 1,2 metros. Los satélites Sentinel de la Agencia Espacial Europea realizan monitoreo constante de estos glaciares para detectar rupturas o desprendimientos, los cuales ocurren cada vez con mayor frecuencia. Los datos provenientes de los satélites revelan que el cambio climático está redefiniendo la Antártida.

También hay evidencia de que parte de la plataforma de hielo de Antártida Occidental, el glaciar Isla Pine y el glaciar Thwaites en el sector del mar de Amundsen, pueden haber pasado potencialmente un punto de no retorno en cuanto a la retirada irreversible de su línea de apoyo; línea o franja donde una masa de hielo al introducirse al mar se separa de la roca y flota en el océano.

Los modelos climáticos señalan que perder esta parte del hielo en la Antártida Occidental puede desestabilizar gran parte del clima planetario.

4. Efectos e impactos del cambio climático

En el orden global, los efectos varían notablemente entre países, pero en general, se puede decir, que los países desarrollados son los que

ya tienen estrategias de mitigación y adaptación para comprender los impactos y costos; por lo que, los riesgos asociados al cambio climático en estos países son menores que en los países más pobres, que aún no tienen claro los efectos y consecuencias y, por consiguiente, no han determinado la mejor manera de enfrentar este problema que impacta a todo el planeta, tal como se aprecia en la Figura 6. Por lo que se puede decir que existe una alta correlación entre el desarrollo económico de los países y el riesgo ante el cambio climático.

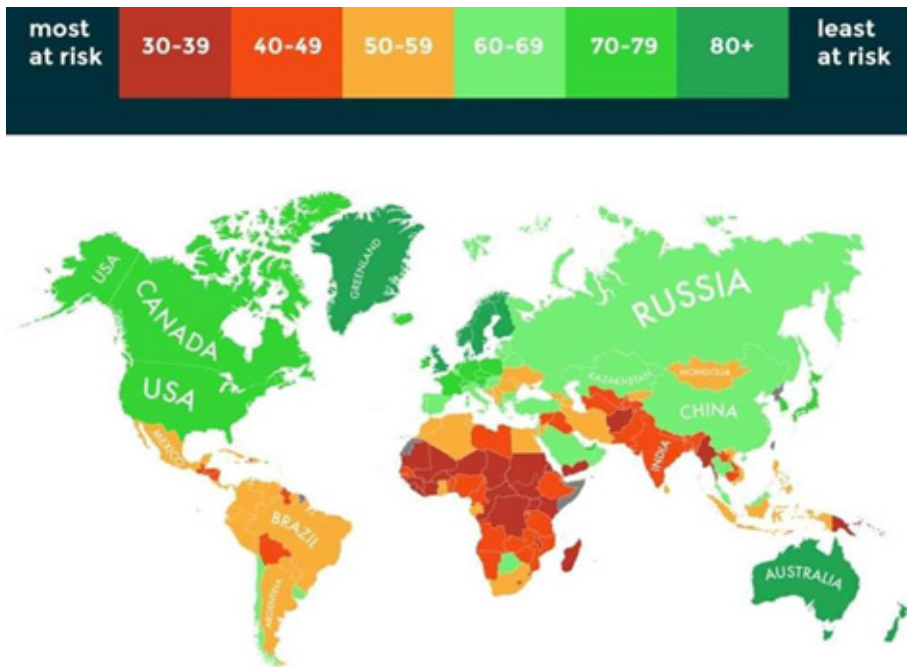


Figura 6. Riesgo por países ante el cambio climático
Fuente: (IPCC, 2022)

Los efectos e impactos del cambio se observan según el IPCC en todos los aspectos de la vida cotidiana. Los principales efectos del cambio climático en los recursos hídricos se relacionan con un aumento de temperatura del aire, aumento de la temperatura superficial del mar SST, aumento del nivel del mar, cambios en la precipitación, aumento de la evapotranspiración a causa de una mayor temperatura terrestre, que a su vez genera una disminución de la humedad del suelo y, finalmente, un aumento de la variabilidad interanual y de la frecuencia de eventos extremos de lluvias e inundaciones.

En cuanto a los impactos, se destaca la disminución de agua en las cuencas que nacen en glaciares y zonas de páramos, disminución del oxígeno disuelto y de la capacidad de autodepuración de los océanos, incremento en algas, mayor salinización de acuíferos costeros, aumento en la variabilidad de la disponibilidad de agua, que se refiere a un menor abastecimiento de agua y una disminución del nivel freático en los acuíferos, con un aumento en la magnitud y frecuencia de las crecientes en los ríos y un incremento en magnitud y frecuencia de las sequías, lo que aumenta el riesgo de desertización en algunas zonas del planeta.

Los aspectos relacionados con la agricultura que se deben estudiar y, a los cuales se les debe prestar atención son, el aumento en la temperatura y la evapotranspiración que produce cambios en las zonas de cultivos, por ejemplo, zonas que eran cafeteras deberán migrar a cultivos de frutas, tal como se está evidenciando en el departamento de Caldas. La pérdida de humedad del suelo genera suelos secos susceptibles de erodarse y provocar desertización, por lo que se deben tomar medidas de protección y conservación de los suelos, empezando por hacer el uso adecuado para cada suelo, lo cual no se está haciendo en el territorio colombiano, en donde, los suelos aptos para cultivo se utilizan usualmente para ganadería extensiva, que favorecen los procesos erosivos y la pérdida del suelo.

El aumento del dióxido de carbono en la atmósfera puede modificar los comportamientos de los cultivos y su respuesta debe ser estudiada e investigada, puesto que, las respuestas fisiológicas de las plantas y los

animales se ven afectadas por el aumento de la temperatura, cambios en la humedad del suelo y cambios en los regímenes de lluvia. La expansión hacia los polos, de los insectos y de las enfermedades de las plantas que son endémicas de ciertas regiones, que pueden moverse a otras con condiciones climatológicas más adecuadas, y dado que el cambio será en pocos años, las especies no tendrán tiempo de adaptar sus organismos a las nuevas condiciones, por lo que van a migrar. Los riesgos para la seguridad alimentaria son primordialmente locales y nacionales, por lo que se requiere tomar medidas en ese sentido.

Los asentamientos humanos se ven afectados por los cambios en la infraestructura civil, como los acueductos, alcantarillados y vías. Las regiones serán más vulnerables a las inundaciones y a los deslizamientos de terreno, por lo que se deben realizar rediseños de las obras para garantizar su buen funcionamiento. El aumento del nivel del mar afecta la infraestructura costera y la industria; se aumenta el riesgo en llanuras de inundación, y en las laderas con mayor pendiente se prevén cambios en las zonas bajas; en deltas y en grandes ciudades costeras se genera migración a zonas más altas, menos cálidas. El calentamiento, las sequías y las inundaciones afectan los abastecimientos de agua, la recarga de los acuíferos, y, los ciclones tropicales serán más destructivos en algunas zonas. Las olas de calor se convertirían en una mayor amenaza para la salud humana y la productividad, con un aumento en el riesgo de incendios.

Las especies y los ecosistemas ya han comenzado a responder al calentamiento mundial; se ha desatado una extinción masiva de especies. La diversidad biológica, fuente de un enorme valor ambiental, económico y cultural, está amenazada por el rápido cambio climático. La composición y distribución geográfica de los ecosistemas va a cambiar a medida que cambien las características biofísicas de los ecosistemas, a la espera de que las especies respondan a las nuevas condiciones creadas por el cambio climático. Los bosques se adaptan lentamente a la evolución de las condiciones y desempeñan una importante función en el sistema climático; la deforestación afecta al clima y contribuye con la desapa-

rición de especies y ecosistemas porque los hábitats se degradan y fragmentan en respuesta a otras presiones humanas y ambientales. Las especies que no puedan adaptarse con suficiente rapidez se extinguen, lo que representaría una pérdida irreversible. Los desiertos y ecosistemas áridos y semiáridos pueden volverse más extremos. Las regiones montañosas están sujetas a una importante presión por las actividades humanas y los humedales se verán reducidos.

El nivel medio del mar mundial se ha elevado de 10 a 20 cm en los últimos 100 años; los modelos proyectan que los niveles del mar se elevarán otros 20 a 88 cm para el año 2100. Las zonas costeras y las pequeñas islas son sumamente vulnerables ya que las inundaciones y la erosión costera se agrava. El aumento del nivel del mar afecta sectores económicos fundamentales como la pesca y, amenazan la salud humana. Los ecosistemas marinos están expuestos a graves riesgos y pueden desaparecer.

El cambio en las precipitaciones afecta los abastecimientos de agua, modifica la evapotranspiración y afecta embalses y lagos. Se espera que aumenten las lluvias en algunas zonas y disminuyan en otras. El cambio en los patrones espaciotemporales de precipitaciones afecta la cantidad de agua que se capta y produce cambios en las escorrentías afectando los ecosistemas naturales. Cuanto más seco sea el clima, más sensible es la hidrología local, por ejemplo, la elevación del nivel del mar afecta las fuentes de agua dulce; un menor abastecimiento de agua crea una presión entre las poblaciones, la agricultura y el medio ambiente. Los efectos en los trópicos son más difíciles de predecir. Una mejor gestión de los recursos hídricos podría contribuir a reducir la vulnerabilidad.

Se prevé que el cambio climático tenga consecuencias a largo plazo para la salud humana. Las olas de calor están vinculadas a las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Al reducir los abastecimientos de agua dulce, el cambio climático afecta los recursos hídricos y el saneamiento. Un aumento en la frecuencia o intensidad de los episodios meteorológicos extremos representa una amenaza para las comunidades. La seguridad

alimentaria se ve socavada en las regiones vulnerables. El aumento en las temperaturas altera la distribución geográfica de especies que transmiten enfermedades (malaria, dengue, etc.). Las poblaciones deberán adaptarse o intervenir para reducir al mínimo estos mayores riesgos en la salud, pero la evaluación de los posibles efectos del cambio climático deja mucha incertidumbre.

5. Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático

Lo ideal es tratar de mitigar los efectos del cambio climático para cada región, reduciendo las emisiones de los GEI, pero aun así se deben implementar conjuntamente las estrategias de adaptación con las de mitigación. Se proponen entonces, estrategias que involucren a las comunidades, a las empresas, a la academia y al Estado, de tal forma que, todos trabajen para un mismo fin y que se complementen entre sí. De forma aislada no se logran cambios contundentes para el cambio climático. Además, se deben integrar las estrategias agrícolas y ecológicas con las sociales y económicas, dando prelación a las comunidades y a los ecosistemas sobre los aspectos económicos. Todas ellas deben ser resilientes al clima para limitar el calentamiento global a 1.5 °C.

Los esquemas *Bottom-Up* parten de las iniciativas de los individuos que van escalando a las comunidades, las regiones y los países, para finalmente convertirse en políticas públicas o acciones que benefician a todos; los esquemas *Up-Down* parten de decisiones geopolíticas que son adoptadas por los gobiernos, luego son transferidas a las regiones para impactar al final, sobre las comunidades y las personas. Ambas son complementarias y se deben implementar para lograr impactos sobre el cambio climático. Lo importante es que se desarrollen en todas las escalas espaciales posibles, desde nuestra propia casa, pasando por los barrios, las comunas, las ciudades, para que logren impactar en las regiones y a un país y, por ende, se logren metas mundiales.

Para nuestra región se propone favorecer los cultivos agroforestales, por ejemplo, café, plátano y nogales, que combinen los cultivos con el sombío de los árboles, que den estabilidad al terreno, retengan la humedad con la hojarasca, disminuyan la temperatura del suelo, favorezcan la biodiversidad y la conectividad ecológica, tanto de aves como mamíferos pequeños, insectos y microorganismos, que si se tratan adecuadamente cumplen funciones ecológicas sustentables. Recuperar las zonas deforestadas y buscar el equilibrio entre los usos del suelo con su aptitud, evitando los conflictos.

Se debe favorecer la agricultura sostenible y la producción de alimentos orgánicos que mejoran la salud en general. Renovar los cultivos con variedades genéticas que sean resistentes a plagas y soporten las mayores temperaturas, para lo cual se requiere inversión en investigaciones agrológicas, forestales y socioambientales. Utilizar fertilizantes orgánicos, lo cual se logra realizando un adecuado manejo del compost, para que no se usen químicos que son nocivos para las aguas y desgastan los terrenos. En este punto se recomienda, el uso de lombrices para criar gallinas; usar la gallinaza y la porquinaza sirve de fertilizante orgánico, además de suministrar seguridad alimentaria en la época que no hay cosecha. Programar los cultivos para que la producción sea escalonada y para que se obtengan precios variables y favorables en ciertas épocas.

Proteger las zonas de altas pendientes, los nacimientos de agua y las cabeceras de las montañas, con el fin de prevenir procesos erosivos y degradación de los suelos. Solo en los casos en que sea estrictamente necesario, acudir a las obras civiles de protección de taludes.

Adaptar toda la infraestructura de obras civiles a las nuevas necesidades, es decir, mantenimiento y ampliación de vías, rediseño de alcantarillados y acueductos, construir de forma sostenible, utilizando materiales de la región y mano de obra local.

Beneficiar las estrategias de asociación de campesinos a través de mercados alternativos que protejan sus intereses, para que se reduzca la

migración del campo a las ciudades. Favorecer el consumo de productos locales. Crear institutos tecnológicos para que haya apropiación de conocimiento en las regiones y la gente no busque capacitación en las ciudades favoreciendo la migración. Apoyar con políticas amigables y subsidios a los pequeños campesinos en las épocas de crisis climática. Modernizar los procesos de producción sin aumentar el desempleo en las regiones, ni degradar los suelos, de tal forma que sea benéfico para la región y los productores.

Buscar una transformación del uso del suelo que sea favorable para todos los actores interesados, desde el productor, el campesino y el consumidor. Por ejemplo, fomentar la producción de los cafés tipo gourmet, favorecer el ecoturismo en las granjas cafeteras, animar las actividades al aire libre como el avistamiento de aves, senderismo, entre muchas otras, y mejorar la calidad del agua en los ríos para utilizarlos con fines recreativos, en lo que se ha denominado un aumento de la estrategia del turismo ecológico.

Se necesita el apoyo de todos los países para la creación de políticas de protección y estrategias de mitigación para las costas y los mares. Se requiere entonces, de gobiernos capaces y bien informados que propongan políticas eficaces, con las cuales sea posible contribuir a mejorar la seguridad alimentaria de cada país, para garantizar alimento adecuado para toda su población.

6. Conclusiones

El IPCC se creó para proporcionar a los responsables de la formulación de políticas, las evaluaciones científicas periódicas sobre el cambio climático, sus implicaciones y posibles riesgos futuros, así como para presentar opciones de adaptación y mitigación. El IPCC (2022) ha determinado que el cambio climático impacta la salud humana, el clima, los recursos naturales (océanos, suelos y aire), los ecosistemas y en especial los recursos hídricos; sus causas en un 98 % son antrópicas debidas al aumento de emisiones de GEI a la atmósfera.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estima que Colombia es el responsable de 0.37 % de las emisiones totales de GEI, lo cual no es mucho, pero se debe tener en cuenta que la población colombiana representa tan solo el 0.0063 % de la población mundial. Sin embargo, si se comparan las emisiones per cápita, estamos muy por debajo del valor medio para Europa y Norteamérica, así: en Colombia (3,66 t CO₂ eq per cápita/año), Europa (11,1 t CO₂ eq per cápita/año) y Norteamérica (23,5 t CO₂ eq per cápita/año).

Según la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM, 2015), para Colombia se esperan incrementos de temperatura de 1.4 °C (2011-2040) y 2.4 °C (2041-2070); reducción de precipitación mayor al 10 % para la zona Andina. El 63 % de la superficie de Colombia presenta impactos potenciales altos o muy altos.

El desarrollo de estrategias efectivas de mitigación y adaptación al cambio climático es fundamental por los impactos en los recursos hídricos y en los sectores económicos sensibles al clima. Las estrategias deben surgir de un compromiso personal de todos y cada uno hasta las políticas globales.

Una gran ironía es que son los países o poblaciones más pobres los que se verán más afectados por el cambio climático porque su adaptación es más lenta y no se comprenden bien sus efectos; de ahí la importancia de conocer los posibles efectos e impactos del calentamiento global que ocasiona el cambio climático, para poder definir las estrategias de adaptación y de mitigación necesarias.

El cambio climático es el causante de la crisis climática actual que vive el planeta, y no es una amenaza futura sino una realidad presente.

7. Referencias

Boers, N. y Rypdal, M. (2021). Critical slowing down suggests that the western Greenland Ice Sheet is close to a tipping point. *Earth, Atmospheric and Planetary Sciences*. 118(21)e2024192118 <https://doi.org/10.1073/pnas.2024192118>

Duncombe, J. (2021), What five graphs from the U.N. climate report reveal about our path to halting climate change, *Eos*, 102, <https://doi.org/10.1029/2021EO161811> Published on 09 August 2021.

Wunderling, N., Donders J.F., Hurths, J. y Winkelmann, R. (2021). Interacting tipping elements increase risk of climate domino effects under global warming. *Earth Syst. Dynam.*, 12, 601–619, 2021 <https://doi.org/10.5194/esd-12-601-2021>

IAvH (2015). Colombia Anfibia. Un país de humedales. Volumen 1 y 2. Instituto Alexander von Humboldt, Eds: Jaramillo-Villa, U, Cortes-Duque, J. y Flórez-Ayala, C. Bogotá.

PNUD, (2019) The Heat in On. Taking stock of global climate ambition. Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, 36 p. <https://www.undp.org/publications/ndc-global-outlook-report-2019>

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. In Press. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf

IDEAM (2015). Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y

Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLE- RÍA. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/escenarios_cambioclimaticodepartamental/Estudio_tecnico_completo.pdf

IDEAM - UNAL, Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia, Bogotá, D.C., 2018. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

Marulanda A., Fonseca O.A, Vélez, J.J y Cardona O.D. (2016). Hydrological study of the potential effects of the melting of Nevado del Ruiz glacier on urban growth zones in Manizales, Colombia, Hydrological Sciences Journal, 61:12, 2179-2192, DOI: 10.1080/02626667.2015.1090574

Nobre, C. A. y Borma, L. S. (2009) “Tipping points” for the Amazon forest. Current Opinion in Environmental Sustainability, 1, 28–36.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
<http://idea.manizales.unal.edu.co>
idea_man@unal.edu.co

Edición, Diseño y Diagramación: IDEA Sede Manizales
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales