

Informe del estado del medio ambiente  
y los recursos naturales

# Colombia afectada por El Niño y La Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años

Tomo

1



Instituto de  
Investigaciones  
Ambientales  
del Pacífico



**Tomo I:** Colombia afectada por El Niño y La Niña en el  
Periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años.

---

JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN

**Presidente de la República de Colombia**

GABRIEL VALLEJO LOPEZ

**Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible**

PABLO ABBA VIEIRA SAMPER

**Viceministro de Ambiente**

ÓMAR FRANCO TORRES

**Director General - IDEAM**

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

ALEXANDER MARTINEZ MONTERO

**Subdirector de Estudios Ambientales – IDEAM**

Lucia del Pilar Cortés Guardiola y Max Alberto Toro Bustillo

Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM

**EDITORES**

## **DISEÑO DE LA CARÁTULA**

Wilson Becerra

Grupo de Comunicaciones – IDEAM

## **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Wilson Becerra y Héctor Raul Pabón

## **FOTOGRAFÍAS DE LAS CARÁTULAS**

Subdirección de Ecosistemas.

## **CARTOGRAFÍA**

Institutos de Investigación del SINA: IDEAM, IAvH, Invemar, SINCHI e IIAP.

## **CÍTESE COMO**

IDEAM, **Tomo 1**: Colombia afectada por El Niño y la Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años. Bogotá, D. C., 2015. 100 paginas.

Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2015, Bogotá, D. C., Colombia.

ISSN:

## **Distribución Gratuita**

2015, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.

## Junta Directiva

---

**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.**

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

ÓMAR FRANCO TORRES

**Director General - IDEAM**

CLAUDIA PATRICIA PINTO RAMIREZ

**Secretaria Ejecutiva – IDEAM**

PAULA ANDREA SÁNCHEZ

**Secretario General – IDEAM**

## CONSEJO DIRECTIVO

---

GABRIEL VALLEJO LOPEZ

**Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible**

NATALIA ABELLO VIVES

**Ministra de Transporte**

SIMÓN GAVIRIA MUÑOZ

**Director General**

---

**Departamento Nacional de Planeación - DNP**

JORGE BUSTAMANTE ROLDÁN

**Director General**

**Departamento Nacional de Estadísticas - DANE**

RAMON LEAL LEAL

**Director Ejecutivo**

**Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible - ASOCARS**

YANETH GIHA TOVAR

**Directora General**

**Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias**

Paula Andrea Sanchez Gutierrez

**Secretaria Técnica del Consejo**

---

DIRECTIVAS

**Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM.**

NELSON ÓMAR VARGAS MARTÍNEZ

**Subdirector de Hidrología**

ALEXANDER MARTINEZ MONTERO

**Subdirector de Estudios Ambientales**

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ

**Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental**

MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ

**Subdirectora de Meteorología**

CHRISTIAN FELIPE EUSCATEGUI COLLAZOS

**Jefe Oficina Pronósticos y Alertas**

JUAN CARLOS LOBO

**Jefe Oficina Asesora de Planeación**

CARLOS ANDRÉS SILVA SANCHEZ

**Coordinador Grupo de Comunicaciones**

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA

**Jefe Oficina de Informática**

ADRIANA PORTILLO TRUJILLO

**Jefe Oficina Asesora Jurídica**

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO

**Jefe Oficina Control Interno**

---

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS

**Directora General**

CARLOS ALBERTO MENDOZA VÉLEZ

**Subdirectora Administrativa y Financiera**

CATALINA CHICA VARGAS

**Oficina Asesora de Planeación**

MARCO EHRLICH

**Subdirección Científica y Tecnológica**

---

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" - IAvH

BRIGITTE LG BAPTISTE BALLERA

**Directora General**

GERMÁN ANDRADE

**Subdirector Científico**

---

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Von Neuman - IIAP

WILLIAM KLINGER BRAHAN

**Director General**

SATÚ DEL PILAR LOZANO MAYA

**Secretaria General y Jurídica**

GIOVANNY RAMIREZ MORENO

**Subdirector de Investigaciones**

---

**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” - Invemar**

FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA

**Director General**

JESÚS ANTONO GARAY TINOCO

**Subdirector de Coordinación de Investigaciones**

SANDRA RINCÓN CABAL

**Subdirectora Recursos y Apoyo a la Investigación**

## AUTORES Y COLABORADORES

Luis Alfonso López Alvarez, Héctor Raúl Pabón, Jorge Luis Ceballos, Franklyn Ruiz, Guillermo Armenta, Jennifer Dorado y Andrea Rodriguez, María Saralux Valbuena López, Edersson Cabrera Montenegro, Gustavo Galindo García, Oscar Javier Espejo, Lina Maria Carreño, Carlos Alberto Noguera Cruz, Adriana Paola Barbosa, Salomón Ramírez Fernández, Juan Fernando Phillips Bernal, Álvaro Javier Duque Montoya, Charles “Chip” Scott, Miguel Ángel Pena Hernández, Carol Andrea Franco Aguilera Esteban Alvares Dávila y Dairon Cárdenas López, David, A., Miranda-Ortiz, C.L., Enríquez-Acevedo, T., Suarez-Agudelo, A. Arias –Arévalo, P-, Rubio, F., Ortiz-Melo, L., Afanador, J.C., Rodríguez-Murcia, C.E., Jaramillo-Vásquez, R., Dairon Cárdenas, Nicolás Castaño, Sonia Sua, Esteban Carrillo Chica, Doris Laurinette Gutierrez Lamus, José Rancés Caicedo Portilla, Natalia Atuesta Dimián, Mariela Osorno Muñoz, Lorena Quintero, Carolina Díaz Cárdenas, Gladys Inés Cardona Vanegas, Ana Carolina Meza y Dairon Cárdenas, C.P. Peña-Venegas, Maria Soledad Hernández, Elizabeth Riaño y Carlos Ariel Salazar, Lucia del Pilar Cortés Guardiola, Max Alberto Toro Bustillo, Lady Vargas, Ana María Hernández, Oscar Guerrero, Luz Consuelo Orjuela, Claudia Nicol Tetay. Jaime Eduardo Ramírez Henríquez, Carlos Ortegon, Maria Cecilia Cardona, Reinaldo Sanchez, Vicente Peña.

## PROLOGO DEL DIRECTOR

El “Informe sobre el estado del Medio Ambiente y los Recursos naturales Renovables de Colombia 2014” que se presenta en esta oportunidad es el resultado de un esfuerzo interinstitucional que lidera el IDEAM y que integra resultados de evaluación, monitoreo y seguimiento de los recursos naturales de los institutos de investigación adscritos y vinculados del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (IDEAM, Alexander Von Humboldt, IIAP, INVEMAR y SINCHI).

El documento se construye sobre las bases científicas que permiten integrar conceptos, visiones, metodologías y alcances temáticos para mostrar con suficiencia los resultados del conocimiento sobre la riqueza natural del país y las dinámicas de los sistemas naturales. Se evidencian en su contenido las condiciones de los ciclos y procesos que gobiernan el funcionamiento de los ecosistemas y los efectos de las intervenciones humanas. Desde el 2001, año en que se publicó desde el IDEAM el primer Informe sobre el estado de los recursos naturales denominado entonces “El Medio Ambiente en Colombia”, el intercambio de información de los institutos de investigación ha fortalecido la base de conocimiento ambiental para la formulación de políticas y la adecuada toma de decisiones.

El Intercambio de información que hoy se ha materializado en un claro proceso de integración de datos e información operacional en el Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC) permitirá hacia los próximos años el desarrollo de evaluaciones ambientales más precisas y actualizadas, sobre las problemáticas tratadas en la presente versión del informe.

De esta manera, el documento parte en esta oportunidad desde las ciencias meteorológicas e hidrológicas para mostrar evidencias y tendencias de la variabilidad y el cambio climático con énfasis en el análisis del periodo 2012-2014 y las proyecciones estimadas enmarcadas en los escenarios estandarizados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC para los periodos 2011-2014, 2041-2070 y 2071-2100. Los análisis están soportados en series históricas de variables hidrológicas y meteorológicas de más de treinta

años que constituyen un patrimonio de información respaldado por procesos de gestión de información y control de calidad del IDEAM.

La dinámica de la ocupación de territorio y las actividades económicas determinan afectaciones de deterioro de los componentes biosféricos representados por las coberturas vegetales y los suelos que se analizan en un segundo tomo del documento. Se evidencian aportes de estudios de los cinco institutos sobre estado de los ecosistemas continentales, marinos y costeros; degradación de suelos por erosión y valoraciones de la biodiversidad. Se destacan particularidades que determinan cambios significativos en las dinámicas biológicas y geoesféricas tales como las afectaciones por minería en el Choco Biogeográficos, las dinámicas poblacionales en la Amazonia o la intervención de ecosistemas frágiles como los hábitats marino costeros.

Finalmente, se aborda el tema de las afectaciones a los componentes atmosféricos e hidrosféricos dando a conocer la información y conocimiento disponible en el IDEAM sobre calidad del aire en ciudades de Colombia (Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga), emisiones de gases, vertimientos de aguas residuales y cargas contaminantes degradables y no biodegradables vertidas en las principales corrientes superficiales hasta donde se extiende el monitoreo por parte del IDEAM, el INVEMAR y las autoridades ambientales.

El informe sintetiza de esta manera el estado de conocimiento de los recursos naturales renovables de Colombia al 2014 y referencia estudios especializados de los institutos de investigación que abordan las temáticas desde visiones disciplinares e interdisciplinares diferentes.

A su vez, el informe cumple un propósito ético fundamentado en el conocimiento del patrimonio nacional como es el de brindar insumos y referencias para la formulación de políticas y tomas de decisiones sabias y sostenibles que permitan armonizar los ejes y los engranajes del progreso y el desarrollo con la preservación de los recursos naturales, la vida y la cultura.

Omar Franco Torres

Diciembre de 2015

El Informe del Estado del medio ambiente y de los Recursos Naturales 2014 es el resultado del esfuerzo de un número significativo de investigadores de las diferentes Instituciones del SINA a los cuales extendemos un agradecimiento por la acogida a la presente versión. Muchos de ellos llevan ya varios años colaborando con contenidos y valiosas sugerencias y han aceptado las condiciones mediante las cuales el grupo editor del informe impone la estructura y composición de cada libro permitiendo que la labor desarrollada por tales funcionarios haya sido mucho más sencilla y fluida.

En este sentido el desarrollo de cada informe por parte del grupo editor, se ha constituido en un serio proceso de intercambio disciplinar cuyo objetivo ha sido la armonización de contenidos, métodos, procesos de monitoreo y seguimiento enmarcado en áreas temáticas y cobertura territorial diferentes. El informe del Estado del Medio Ambiente conseguido para la vigencia 2014, es por lo tanto una expresión del respeto a la complejidad inherente a las problemáticas ambientales.

Con el interés de mantener una línea continua y crear las bases de comparación con los informes anteriores, el grupo editor se ha preocupado por utilizar los mismos indicadores a través de los años y adicionar solo las mejores propuestas de indicadores. Tales indicadores pueden constituirse en los mejores indicadores existentes en el país por su sustento en procesos de monitoreo y seguimiento continuo y por su acogimiento a la normatividad existente. Generalmente son presentados de manera gráfica en mapas de indicadores al comienzo de cada capítulo o sección.

Esta última regla o requisito ha permitido controlar la calidad de los contenidos involucrados en el informe y en cierta forma explica la periodicidad en la publicación del mismo. La calidad del informe está íntimamente ligada a los periodos de caracterización que se requieren para obtener conclusiones sobre el cambio o los avances en el análisis de una determinada problemática, que no siempre coinciden con periodos anuales. En ciencias ambientales la percepción de los cambios generalmente es el resultado de largos periodos de monitoreo y seguimiento.

**Max Toro Bustillo**

### Tomo I: Variabilidad Climática y Cambio Climático. Colombia afectada por El Niño y la Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años.

Para dar respuesta a los riesgos climáticos que podrían afectar el territorio colombiano en los próximos años, es imprescindible hacer uso de algunos grupos de indicadores como los presentados en este tomo del informe del Estado del Medio ambiente y los Recursos Naturales y que la Institución actualiza y optimiza anualmente: los de aplicación a la valoración del clima presente, aplicación a la valoración de expectativas del clima futuro y los que dan evidencia de cambio climático (Efectos de la Oscilación del Sur – ENOS, en sus fases fría La Niña y cálida El Niño, en la precipitación y la temperatura para el periodo 2012-2014).

Los hechos más destacados del periodo fueron la finalización de un fenómeno La Niña (marzo de 2012) y el inicio de un fenómeno El Niño (octubre de 2014). La mayor afectación en el clima nacional durante éste periodo se debió, en gran medida, a fenómenos de escala sinóptica, los cuales no tuvieron un comportamiento regular en el ciclo de análisis. Incidió mucho el comportamiento anómalo de la Temperatura

Superficial del Mar en el Caribe colombiano y el Atlántico Tropical en el déficit de lluvias, particularmente en las regiones Caribe y Orinoquia.

El año 2012 empieza bajo la afectación de un fenómeno La Niña, de intensidad débil, que se dio inicio en el año 2011 (septiembre) y que continúa los tres primeros meses para finalizar en marzo. Si bien este fenómeno fue catalogado como débil, su impacto en las lluvias sobre el territorio nacional fue moderado durante los primeros cuatro meses del año, incidiendo incluso en el comportamiento excesivamente por encima de lo normal en el centro y sur de las regiones Andina y Pacífica (enero), Orinoquia y Amazonia (marzo) y en las regiones Orinoquia, Pacífica, Andina y Caribe durante abril. El resto del año, dicha Oscilación se mantuvo en valores neutrales, sin mayor incidencia en el comportamiento de las lluvias, a pesar que registró un tenue calentamiento en los meses de septiembre y octubre, conllevando con ello déficits de precipitación en el territorio nacional durante los meses de septiembre y noviembre.

Para el año 2013, la Oscilación del Sur – ENOS se mantuvo en el umbral de condiciones neutrales durante todo el año. Durante el año 2014 hubo tendencia al incremento en las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar en el océano

Pacífico Tropical, de tal manera que había una altísima probabilidad de inicio de un fenómeno El Niño, el cual finalmente se empieza a formar a partir del mes de octubre.

Evidencias de cambio climático global en el territorio nacional y su exposición en las próximas décadas: Son evidencias la disminución de la masa glaciar y las características del territorio ante la injerencia de los fenómenos El Niño y la Niña que desde el año 1991, han sido relativamente continuos y han impactado ya las actividades socio económicas de una forma significativa y afectado la vida y bienes de la población.

El Retroceso de los glaciares en Colombia como evidencia del Cambio Climático Global se estudia en seis glaciares: Nevados Ruiz (9,7 Km<sup>2</sup>), Santa Isabel (1,8 Km<sup>2</sup>), Huila (9,7 Km<sup>2</sup>), Tolima (0,74 Km<sup>2</sup>) y dos sierras nevadas, El Cocuy o Gúicán (16,0 Km<sup>2</sup>) y Santa Marta (7,4 Km<sup>2</sup>). Cabe señalar que los glaciares Colombianos, los cuales, presentan áreas, espesor y volumen relativamente pequeños, son muy sensibles a los cambios de precipitación y temperatura, estando fuertemente influenciados por la dinámica climática mundial. Con base en datos de área glaciar calculadas de las últimas tres décadas, es posible manifestar que para el año 2010, en Colombia, se había reducido el área glaciar en un 51% con respecto a la de hace 30 años y con una tendencia actual de disminución del 3% por año.

Escenarios de cambio climático bajo estándares del quinto reporte AR5 de IPCC (Propuesta

analítica sobre cambio climático): Se presentan los escenarios de cambio climático de la precipitación y la temperatura media para Colombia, usando los nuevos escenarios de forzamiento radiativo RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 (o VCR2.6, VCR4.5, VCR6.0 y VCR8.5) de los modelos climáticos globales disponibles en la base de datos del proyecto Couple Model Intercomp-Arison Project Versión 5 (CMIP5), usando el método de Ensamble Promedio de Fiabilidad Conjunta (“Reliability Ensemble Averaging” REA Method, por sus siglas en inglés) para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 tomando como periodo de referencia 1976-2005.

## [TOMO II: Deforestación y afectación de los ecosistemas por ocupación del territorio y actividades económicas.](#)

Los avances registrados en el monitoreo de las coberturas de la tierra en Colombia han dado como resultado diversas aplicaciones para el estudio a profundidad de diversas problemáticas ambientales relacionadas con la destrucción, conservación y protección de ecosistemas, biodiversidad y servicios ecosistémicos.

El Mapa Nacional de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia escala 1:100.000, muestra en forma general los ecosistemas del país e identifica la estructura ecológica principal de la nación y las condiciones en que se desarrollan los servicios ecosistémicos.

Otra aplicación de los procesos de investigación con base en el análisis de las coberturas de la tierra son las que han servido para estructurar el Estado de la Vigilancia y desarrollo de información mediante un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono en Colombia -SMBYC-.

Este Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono -SMBYC del IDEAM es una herramienta que permite contar con información sobre la deforestación en Colombia, incluyendo la identificación de superficies en áreas de bosque (B) y no bosque (NB), la cuantificación de la deforestación bruta/neta, y las áreas que se regeneran durante el período de análisis (cambio de no bosque a bosque), así como los cambios en la cantidad de carbono almacenado en diferentes coberturas y/o compartimientos, que se desprenden de este proceso. Lo anterior se pretende lograr, a través de la cuantificación nacional de la deforestación (ésta incluye la cuantificación de áreas en regeneración, las cuales al ser descontadas de las áreas deforestadas, permite cuantificar la deforestación neta), la generación semestral de Alertas Tempranas de Deforestación, y Monitoreo del Carbono almacenado en los bosques.

Otra importante aplicación del conocimiento derivado de los análisis de cobertura terrestre son las actualizaciones de stocks de carbono y estimación emisiones. Los datos empleados para estimar las reservas de Carbono almacenadas en la biomasa aérea, provinieron del

establecimiento de 4.981 parcelas en bosques de Colombia entre 1990 y 2014.

El tamaño de las parcela vario entre 0, 02 ha y 1,50 ha. El área total muestreada fue de 1.190 ha, aunque la información utilizada en el presente estudio se generó utilizando diferentes protocolos de muestreo, corresponde al conjunto más grande y representativo disponible en la actualidad para estimar la BA de los bosques del país. Los datos fueron compilados en el repositorio del SMBYC del IDEAM, en donde se almacenaron en tablas separadas los atributos propios de las parcelas y los individuos.

El Estudio de la degradación de suelos por erosión en Colombia. Línea base 2010 -2011. Escala 1:100.000. 2015 se enfocó al establecimiento de una Línea base de degradación de suelos. El estudio se realizó con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales – UDCA, el cual permitió presentar al país la zonificación de los procesos de degradación de suelos por erosión a escala 1:100.000, en el marco de la gestión sostenible de los suelos en Colombia.

El Instituto Alexander Von Humboldt, desarrolla una metodología para la Valoración Integral de la Biodiversidad y de los Servicios Ecosistémicos: Proyecto piloto en la Cuenca Media-Alta del Río Otún (Risaralda), Páramo de Rabanal (Boyacá y Cundinamarca) y Río Orotoy.

Aunque los estamentos constitucionales y legales establecen la importancia para la conservación, preservación, restauración y el uso sostenible de este tipo de regiones; desafortunadamente, los procesos históricos, demuestran a la fecha, que parte de la gestión ambiental institucional (“clásica”), y no solo la que ejercen las autoridades ambientales si no la que genera la sociedad en general, tiene visos patológicos.

El Instituto INVEMAR, expone en el presente informe una síntesis del Estado de los ecosistemas y hábitats marinos y costeros de Colombia (estado del ambiente y los ecosistemas marinos y costeros). Con base en caracterizaciones de los diferentes componentes de estos ecosistemas por medio de indicadores basados en procesos de monitoreo bastante desarrollados, se permite dar cuenta de la evolución de los impactos antrópico en tales ecosistemas y/o de las diferentes condiciones de su desarrollo natural.

Es así como estudia los procesos climáticos, el grado de erosión y acreción, Cambios en los regímenes hidrológicos y oceanográficos y la misma calidad del agua. Un seguimiento de estos factores básicos abióticos que sustentan los ecosistemas marino costeros, permitirá determinar con suficiente antelación las acciones a tomar para prever, mitigar, restaurar o inminente e inevitablemente observar el colapso de ciertas áreas con ecosistemas llevados a la degradación o eliminación local.

Se presentan en detalle el desarrollo de estos procesos llevados a cabo en el último año, que corresponden al trabajo multidisciplinario de los grupos de Geociencias Marinas y Calidad Ambiental, para que el lector tenga una idea clara de las características y procesos que son tenidos en cuenta para el análisis y explicación de los indicadores determinados en cada uno de estos.

El Instituto SINCHI, presenta los principales avances en investigación de los Estado de los ecosistemas y de la biodiversidad de la Amazonía colombiana, dinámicas poblacionales y planes de manejo.

Para la región Amazónica (sentido amplio) la diversidad florística ha aumentado a 7489 especies de plantas, esta cifra corresponde a un incremento del 6% respecto a lo encontrado en la región en 2011 (IDEAM, 2013). A su vez, el número de ejemplares aumentó en un 14.8% respecto a 2011 para un consolidado de 85.482 ejemplares. Durante el 2012 el incremento se debió principalmente a una intensidad de muestreo en el departamento del Vaupés y para el 2013 el aumento se debió principalmente a una intensidad de muestreo en los departamentos de Vaupés, Guaviare y Caquetá.

En los seis departamentos que políticamente componen la Amazonia colombiana se han registrado 1158 especies de aves de las cerca de 1400 que podría haber de acuerdo a información de bases de datos y distribuciones potenciales. Caquetá y Amazonas son los departamentos en

los que se han registrado más especies. Sin embargo la riqueza de aves se relaciona con el esfuerzo de muestreo, que ha sido mucho menor en Guaviare, Putumayo y Guainía, de tal manera que es probable que los datos disponibles no reflejen con total exactitud la distribución de la diversidad de aves en la región.

Es notorio el caso del Putumayo cuya avifauna debería ser similar a la del Caquetá, donde también hay ecosistemas andino-amazónicos, pero que de acuerdo a los listados disponibles está compuesta por cerca de 300 especies menos.

La pérdida o disminución de especies se asocia con cambios deletéreos en los ecosistemas debido, entre otros, a alteraciones en las relaciones tróficas. Las serpientes constituyen uno de los mayores depredadores en los ecosistemas neotropicales y si bien, no se cuenta con información poblacional que evidencie su disminución, si se conocen las múltiples amenazas que ostentan, una de ellas generada por la ofidiofobia y el desconocimiento de las características que diferencian las venenosas de las inofensivas.

En Colombia, la mayoría de los estudios de fauna de uso se han enfocado en la caracterización etnobiológica y sociocultural de la cacería, más que en la evaluación cuantitativa o poblacional de la sostenibilidad. Las aproximaciones a la sostenibilidad se han abordado principalmente a partir de la apreciación de los cazadores, centrándose en los grupos de vertebrados

grandes, y de acuerdo a la presencia de especies consideradas importantes en la cacería.

Considerando las dificultades taxonómicas para realizar el inventario de la biodiversidad, desde hace más de 10 años, investigaciones han puesto a prueba la idea que las especies pueden ser identificadas fácil y rápidamente utilizando únicamente una secuencia corta de ADN, la cual representa una posición estandarizada en el genoma y que es llamada código de barras de ADN (DNA barcode), aunque depende de una identificación realizada previamente un taxónomo.

En este contexto, se ha reconocido la utilidad de esta herramienta para avanzar en conocimiento de la diversidad de la Flora de la región amazónica colombiana, y en este sentido se ha venido generando información de códigos de barra de ADN a partir de especies plenamente identificadas y cuyos ejemplares se encuentran depositados en el Herbario Amazónico Colombiano (COAH).

Como parte del programa de Ecosistemas y Recursos Naturales, se ha venido realizado inventarios de la biodiversidad a nivel de vegetación nativa de bosques de la Amazonia colombiana y su asociación con los microorganismos del suelo, específicamente con comunidades bacterianas. Los bosques amazónicos mantienen una alta diversidad y biomasa de especies vegetales eficientemente adaptadas a suelos extremadamente ácidos y pobres en nutrientes; entre los mecanismos de adaptación se incluyen el dimorfismo de la raíz, la

reabsorción de nutrientes antes de la senescencia de las hojas, así como asociaciones micorrizas y con microorganismos de la rizósfera que participan en el continuo ciclaje de nutrientes (Haridasan, 2008). La diversidad microbiana en suelos de bosque es enorme, y se ha estimado que más del 99% de las especies aún no han sido identificadas.

El Instituto Sinchi viene haciendo el inventario de hongos formadores de micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana, usando conjuntamente técnicas espora-dependiente y técnicas moleculares (Secuenciación de ADN de la subunidad ribosomal) a partir de muestras de suelo y raíces de plantas colectadas en diversos ambientes y suelos, para tener una aproximación precisa a la composición y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares en esta porción de la Amazonia. Actualmente el Instituto Sinchi viene renombrando especies previamente definidas en los nuevos géneros de acuerdo a las actualizaciones taxonómicas que este grupo de organismos.

Las especies de la diversidad Amazónica poseen amplia aptitud para su aprovechamiento. Los nichos en los que encuentran sus principales aplicaciones se encuentran identificados en los sectores cosmético, nutraceutico y agroalimentario. Dentro de sus principales propiedades se distingue su carácter funcional y fitoterapeutico que se mantiene en la cadena de uso, desde las especies mismas, así como en sus derivados.

El SINCHI además ha profundizado en el seguimiento al proceso de poblamiento. El porcentaje de superficie dentro del anillo de poblamiento amazónico, es un indicador que representa la proporción de la superficie de un determinado municipio o corregimiento departamental que se encuentra dentro del área de poblamiento continuo y jerarquizado (anillo de poblamiento), con respecto a la superficie total del anillo en un momento de tiempo determinado. Los datos calculados a partir de los mapas de anillo de poblamiento para los años 2002, 2007 y 2012

Como un aporte a los compromisos frente al Convenio de Diversidad Biológica y de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres – CITES; así como un avance en las metas propuestas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para procurar la conservación de la biodiversidad del país se generaron los Planes de Manejo para la Conservación Abarco, Caoba, Cedro, Palorosa y Canelo de los Andaquíes (ver Cárdenas *et al.* 2015). La sobre explotación y la reducción de su hábitat natural han llevado a estas cinco especies a diferentes grados de amenaza en el territorio nacional y por ende requerir de estrategias que aseguren la conservación de sus poblaciones naturales remanentes.

Estado de los ecosistemas y de la biodiversidad del Choco Biogeográfico se mantiene como parte

de los programas de investigación del Instituto IAP. Dada la importancia que ha tomado la problemática minera, se estudian en el presente año dos ecosistemas afectados por actividades mineras y extractivas de pequeña y mediana escala. Son la Cuenca del Río Quito y la Ciénaga del Beté.

El sistema socioeconómico y productivo de las comunidades negras de la cuenca hidrográfica del río Quito, está ligado a los bienes y servicios ambientales y ecosistémicos asociados alrededor de los cuales se desarrollan los sistemas tradicionales y las principales actividades productivas como la minería, agricultura, pesca y caza, las cuales son desarrolladas bajo la categoría de económica de subsistencia. Pese a esto, en los últimos tiempos se viene desarrollando sobre el cauce de esta cuenca, prácticas mineras mediante tecnologías introducidas a los territorios con maquinaria pesada que implican el establecimiento de entables con retroexcavadora, dragas y otros sistemas mecanizados de producción, los cuales vienen generando un deterioro y pérdida de ecosistemas, rompimiento del tejido sociocultural y económico, debido a las ocupaciones extractivas foráneas.

El Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IAP, en cumplimiento de su misión investigativa para el desarrollo progresivo de las comunidades y el sostenimiento del equilibrio ambiental ha desarrollado investigaciones con el fin de generar conocimiento cualitativo y

cuantitativo acerca de los efectos que ha producido la actividad minera sobre los recursos naturales de la región, en este sentido se han realizado protocolos de caracterización de impactos causados por esta actividad, sobre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema en el Choco Biogeográfico como en los municipios de Condoto, Tadó, Istmina entre otros, en las cuales las fuentes hídricas estudiadas, han presentado condiciones como destrucción de la vegetación ribereña y alteraciones morfométricas de las orillas por la remoción del suelo, reducción del caudal por el represamiento y desviación de cauces, altos niveles de turbiedad por el transporte de sedimentos provenientes del lavado de las gravas en los frentes de producción, entre otros.

El análisis de la información encontrada, permitió determinar que existen pocos reportes, sobre estudios de calidad fisicoquímica del agua, y no se encontraron estudios reportados para el río Quito referente al uso de las comunidades biológicas (Macroinvertebrados Acuáticos) como indicadores de calidad del ecosistema, al ser este grupo ampliamente usados en la evaluación para predecir la calidad de las aguas ya que son capaces de integrar los cambios que ha sufrido el ecosistema a lo largo de la vida de los organismos, e informar las perturbaciones más allá de la propia contaminación del agua, puede ser la alteración física del cauce y de la ribera, debido a los impactos ocasionados por las actividades mineras que vienen azotando la región desde hace algún tiempo. Estos impactos

ambientales se ven reflejados en los efectos sobre el ambiente y los recursos naturales, y de manera especial en alteraciones en sus relaciones y funciones ecosistémicos, alterando su calidad y disponibilidad principalmente para abastecimiento de las poblaciones ribereñas, suelo, flora, fauna, recursos hídricos y el desarrollo de otras actividades antropogénicas que a su vez se manifiestan en la oferta de bienes y servicios ecosistémicos indispensables para garantizar la vida humana, su desarrollo y bienestar.

Las comunidades del municipio de río Quito dependen principalmente de la minería de oro y platino y en menor escala de la agricultura y la pesca para su subsistencia. Sin embargo, la marcada costumbre de extracción de oro en este territorio, ha modificado gran parte de la estructura boscosa, la calidad del agua, además de la hidromorfología de sus fuentes. La huella que deja esta actividad sobre el entorno es devastadora, situación que coloca en riesgo no solo la vida de las comunidades, sino también todo un conjunto de organismos que necesitan de buenas condiciones en sus ambientes para el desarrollo de sus funciones ecológicas y biológicas. No obstante, a pesar de dicha importancia, esta actividad no es controlada debidamente por las autoridades e instituciones competentes, de ahí que la no presencia de estas, pueda interferir al uso inadecuado de los recursos naturales.

El Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, teniendo en cuenta los efectos negativos

que genera por lo general la minería sobre los ecosistemas donde se desarrolla esta actividad, ha venido adelantando investigaciones para determinar el estado ambiental de los mismos después de las perturbaciones, con el fin de realizar estrategias en caminadas a la recuperación, conservación y mitigación de impactos sobre estas. En este contexto, se presentan en este documento algunas estrategias de prevención y mitigación de impactos con el fin de promover buenas prácticas de uso de los recursos naturales del municipio de Río Quito.

En el mismo rango de investigaciones ambientales, el Instituto SINCHI desarrolla un proceso de Valoración integral de los ecosistemas cenagosos del municipio del medio Atrato – chocó-caso ciénaga grande de Beté.

En la actualidad ha crecido la preocupación por los impactos derivados de las actividades humanas sobre los ecosistemas, debido a que el capital natural del planeta se ha reducido considerablemente por el deterioro de ecosistemas hídricos y boscosos. De ahí que la problemática ambiental actual gire en torno al uso inadecuado de la base de bienes y servicios ambientales y su creciente degradación, lo cual ha generado una urgente necesidad de adelantar procesos de la valoración económica ambiental, con el fin de abordar esta problemática y cuantificar los costos ambientales de los procesos productivos agrarios e industriales; a fin de diseñar los mecanismos de regulación e

incentivos apropiados para mitigar los impactos de la sobreexplotación de los recursos naturales.

Se planteó el desarrollo del proyecto de valoración integral de los ecosistemas cenagosos del Municipio del Medio Atrato, caso Ciénaga Grande de Beté, en el cual se buscó identificar los bienes y servicios que presta el ecosistema a nivel económico, ambiental y cultural, seleccionar una metodología que permita el análisis integrado de los mismos y la aplicación de dicha metodología, de tal manera que se pueda obtener un valor económico integral del sitio, como una herramienta para la toma de decisiones de manejo y conservación del esta área tan valiosa. Se logra identificar los bienes y servicios ambientales, culturales y económicos prestados por la ciénaga Grande de Beté y seleccionar la metodología y modelo de valoración para el ecosistema de importancia económica, ambiental y cultural y analizar los resultados obtenidos a partir de la valoración integral del ecosistema.

La aplicación de los métodos de valoración económica ambiental seleccionados, permitió conocer los beneficios que la comunidad percibe o atribuye a contar con un ecosistema tan importante como la ciénaga Grande de Beté y los costos que cualquier nivel de intervención implicaría en la disponibilidad de los bienes y servicios ambientales. En este sentido los cálculos mostraron una clara disponibilidad a pagar por usar y conservar no solo los recursos naturales, sino también los aspectos culturales derivados de la existencia de dicho ecosistema.

La valoración integral aquí realizada constituye un ejercicio de aproximación al diseño de herramientas que puedan funcionar como incentivos de conservación, que permitan no solo mantener la estabilidad de ecosistemas estratégicos como este, sino la subsistencia, el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades que los han conservado a través de los años y la preservación de las tradiciones culturales que se desarrollan a su alrededor y que tienen un valor incalculable.

Teniendo en cuenta que existen muchos enfoques metodológicos para realizar valoración de ecosistemas y que la ciénaga Grande de Beté cuenta con una gran cantidad de bienes y servicios ambientales que difícilmente se integran de manera global en un solo método, se recomienda la aplicación de otras metodologías de valoración para bienes y servicios de gran interés de manera independiente, de tal manera que se puedan hacer análisis comparativos de resultados y generar un amplio conocimiento sobre el valor de este ecosistema desde diferentes perspectivas.

### **TOMO III: Contaminación y presencia de sustancias químicas como riesgos a la salud de la población.**

Las emisiones de gases, vertimientos de aguas residuales y contaminantes en general, sistemas deficientes de disposición y aprovechamiento de residuos, sustancias químicas peligrosas dispuesta inadecuadamente, pueden constituir condiciones de riesgo para la salud de la

población y a su vez ser causa de mortalidad y morbilidad de la población actual y futura. Principalmente de la población que se encuentra en condiciones de vulnerabilidad como ancianos, mujeres embarazadas y menores de 5 años y luego pueden afectar a grupos poblacionales menos vulnerables como población adulta.

Los capítulos que se presentan en este tomo, buscan redimensionar las evaluaciones generales que permiten caracterizar de manera muy global la problemática de la calidad ambiental y la identificación de los riesgos del impacto en la salud pública.

La Contaminación del aire e impacto en la salud de la población se desarrollan con base en los indicadores más globales y nacionales para establecer unas dimensiones que permitan al Estado desarrollar sus sistemas de monitoreo y seguimiento.

Los episodios que afectan la salud producto de la contaminación del aire de las ciudades pueden surgir de una interacción de varios fenómenos entre las que se pueden destacar, la exacerbación de actividades económicas como el transporte, el uso de energía y cualquiera otra actividad que implique emisiones al aire, la concentración de tales actividades económicas en áreas urbanas y de la población expuesta en áreas específicas y la presentación de ciertas condiciones meteorológicas como inversión térmica por ejemplo.

En general, el conocimiento de las interacciones de variables a escala local, son las realmente relevantes para comprender la incidencia de la calidad del aire en la salud, dada la relatividad de sus implicaciones. El significado del monitoreo es relativo a las condiciones de las áreas y a las condiciones de la población expuesta.

La Contaminación y las condiciones de calidad del agua superficial en Colombia son el otro elemento de importancia en el desarrollo de las prioridades de investigación de los Institutos de investigación de SINA, principalmente por la afectación de la población rural que no cuenta con un servicio de abastecimiento que asegure el mantenimiento de la salud de manera continua. Colombia ha comenzado a cerrar la brecha de las desigualdades en este sentido. La cobertura y el abastecimiento del agua en estas zonas son cada vez mejores, pero a nivel rural tal abastecimiento puede constituir un serio límite para el desarrollo social.

La gestión de la calidad del agua medio ambiental en Colombia, requiere del reforzamiento de los sistemas de monitoreo que permitan relacionar efectivamente el daño y su magnitud para garantizar y focalizar la inversión necesaria dirigida a mantener la operación y continua estabilización de los sistemas de abastecimiento de agua, aseguramiento de captación y recuperación de las fuentes hídricas.

El estudio nacional del agua del IDEAM del 2014, desarrolla una caracterización de la calidad del agua con base en dos tipos de enfoques: uno, el

asociado a los aportes contaminantes en las cuencas o presiones por cargas contaminantes y dos el que se deriva de las condiciones de calidad del recurso principalmente en la cuenca Magdalena – Cauca, cuenca que recibe la mayor presión ambiental, dado el mayor nivel de desarrollo social y económico del país.

En esta sección se presentan las cargas contaminantes: La carga neta de contaminantes por vertimientos puntuales que potencialmente llega a los sistemas hídricos del país provenientes de los sectores industria, doméstico (incluye sacrificio de animales) y beneficio del café, La carga orgánica biodegradable (DBO5) vertida a los sistemas hídricos después de tratamiento en Colombia durante el año 2012 alcanzó 756.945 t/año, que equivalen a 2.102 t/día.

El análisis de la calidad de agua, reportado en el ENA 2014 para puntos específicos del territorio nacional se realiza a partir del indicador de calidad de agua ICA construido con los resultados del monitoreo de variables representativas de los principales contaminantes para materia orgánica, material en suspensión, porcentaje de saturación de oxígeno, mineralización, acidez o alcalinidad, y nutrientes.

Se analizan otros contaminantes también medidos en la red nacional de monitoreo y en puntos específicos, tales como: concentración de metales pesados en sedimentos superficiales y mercurio en agua, nitrógeno amoniacal y desbalance de nutrientes.

La Generación, disposición, aprovechamiento y valoración de residuos en general en Colombia es una problemática que debe ser atendida con urgencia por parte de los tomadores de decisiones. En general, la disposición inadecuada de residuos ordinarios y peligrosos y el uso, manejo y deficiente disposición de sustancias químicas en el territorio nacional constituyen un serio riesgo de afectación a la salud, que eventualmente produce efectos por la simple exposición a tales residuos y sustancias, especialmente en el ámbito laboral o en zonas de tratamiento o disposición de estas sustancias.

La generación de los residuos en Colombia fue calculada a partir de los reportes sobre presentación de residuos para disposición, realizados por empresas prestadoras del servicio público domiciliario de aseo y otros gestores de residuos o entidades de control como la Superintendencia de Servicios Públicos. Sin embargo, si se considera la variedad de residuos y sus diferentes tipos de manejo, la totalidad de los residuos no son registrados en alguna de las bases de datos consultadas para el presente informe. Lo cual, conlleva a la necesidad de generar procesos de investigación que permitan avanzar en el monitoreo y seguimiento de esta problemática.

En Colombia se han conocido varios tipos de sitios para realizar la disposición final de residuos ordinarios: relleno sanitario, planta integral, celda de contingencia. Por su parte, los sistemas contabilizados como inadecuados son: celda transitoria, botadero, enterramiento, vertimiento

a cuerpos de agua. De los anteriores, los sistemas de disposición final contabilizados como adecuados son: relleno sanitario, planta integral, celda de contingencia y todo aquel que cumpla con las definiciones y autorizaciones establecidas y requeridas por las normas y autoridades competentes.

En el año 2013 la generación de residuos o desechos peligrosos fue de 241.620,0 toneladas, cifra inferior a las 261.995,8 toneladas generadas en 2012 pero superior a las 227.407,8 toneladas generadas en 2011; la disminución de las cantidades reportadas para el año 2013 con respecto al año 2012, puede atribuirse a una disminución en las cantidades reportadas como generadas de la corriente de residuo correspondiente a las mezclas y emulsiones de agua e hidrocarburos o aceites y agua (Y9 + A4060), la cual, como se podrá apreciar posteriormente en el presente documento, presenta una disminución de más de 26.000 toneladas generadas en 2013 con respecto a lo reportado para el año 2012; acorde con lo anterior, la actividad de extracción de petróleo crudo (0610), presenta una disminución de más de 51.400 toneladas de residuos peligrosos generados en 2013, con respecto a lo reportado para el año 2012.

Durante el año 2013 se manejaron en el país un total de 260.844,1 toneladas de residuos o desechos peligrosos, de las cuales el 22,5%

(58.583,4 toneladas) fueron manejadas por medio de aprovechamiento y/o valorización externa, el 44,8% (116.739,9 toneladas) fueron manejadas por medio de tratamiento externo y el 32,8% (85.520,7 toneladas) fueron llevadas a disposición final interna y externa. A 31 de diciembre de 2013 se encontraban en almacenamiento (interno y externo) un total de 33.999,4 toneladas que no habían sido gestionadas.

La Presencia de sustancias químicas en el territorio nacional requiere de un proceso de investigación que permita integrar los diferentes registros y sistemas de información. El IDEAM desarrolla en este informe, una metodología para generar un Listado de Sustancias Químicas en el Territorio Nacional.

Los diferentes sistemas de información hasta ahora constituidos han proporcionado datos para apoyar la identificación y evaluación de los posibles riesgos para los seres humanos y el medio ambiente mediante la indicación de las fuentes y cantidades de emisiones potencialmente dañinas y las transferencias a todos los medios ambientales. En el presente documento se propone una metodología para desarrollar un listado de sustancias de posible presencia en el territorio nacional.

## Introducción.

Desde 1993, a partir de la promulgación de la ley 99, el país logra un desarrollo significativo de instrumentos de política ambiental que ha podido alcanzar gracias a la interdependencia entre los objetivos de política y la base científica que los sustenta. Base científica que está en cabeza de los Institutos de investigación del SINA (SINCHI, INVEMAR, IAVH, IIAP e IDEAM) que en cumplimiento del decreto 1277 de 1994, a través del Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables versión 2014 (IEARNR v 2014), entregan los principales avances en el conocimiento, monitoreo e información de acuerdo a su competencia técnica y temática.

Avances que son el resultado de una diversidad de procesos, metodologías, recursos y capacidades de investigación y que el presente informe 2014 recoge en tres tomos a saber: Colombia afectada por El Niño y la Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años (Tomo I). Deforestación, erosión y afectación de los ecosistemas por ocupación del territorio y actividades económicas (Tomo II) y Contaminación y presencia de sustancias químicas como riesgos a la salud de la población. (Tomo III).

En el Tomo I del IEARNR v 2014, continuando con la divulgación de los resultados de investigación climática generados por el IDEAM, autoridad en materia de hidrología y meteorología del país, presenta las evaluaciones del comportamiento de la precipitación y temperatura a lo largo del territorio nacional en el periodo de 2012 a 2014, dando continuidad a la evaluación presentada en el último IEARNR donde se exponen los resultados del periodo 2009 a 2012. Con estos resultados se establece una evaluación de un periodo de tiempo, que ilustra de manera amplia las dos fases del fenómeno ENOS y permite al lector comprender los procesos de anormalidad que se han presentado en el 2015.

En este tomo, se incorporan al mismo tiempo los resultados de proyecciones climáticas de largo plazo como son los escenarios de cambio climático, cuya presentación oficial ocurrió en el presente año (2015). Es decir, el tomo I, permite al lector tener una percepción de corto, mediano y largo plazo de la afectación del territorio por las variables climáticas más relevantes.

En el tomo II del IEARNR v 2014, se presentan los resultados de investigación de las diferentes Instituciones rectoras de la investigación oficial sobre ecosistemas y biodiversidad, sea a nivel nacional como el IAvH, INVEMAR e IDEAM o regional como el IIAP y el SINCHI. Es por lo tanto altamente relevante, la presentación de resultados en dos formas: una, la de cobertura nacional y la otra de cobertura regional que coincide con las dos ecorregiones cuya área territorial es la más representativa a nivel nacional como es la de Choco Biogeográfico y la de Amazonía.

En la primera parte de este segundo tomo, en la correspondiente a la de cobertura nacional, se ilustran procesos de degradación de los ecosistemas y biodiversidad mediante índices ampliamente aceptados por la comunidad científica como son los creados para dar cuenta de las coberturas deforestadas, las afectadas por procesos de erosión y/o ocupación del territorio, o coberturas que representan ecosistemas fragmentados y/o ecosistemas artificializados entre otros.

En la segunda parte de este tomo se presentan los resultados de las investigaciones basados en indicadores generados por metodologías, cuyo eje central son estudios de campo y sistemas de recolección de datos en terreno. Los indicadores más relevantes son los conteos y densidad de especies, los resultados del análisis físico químicos de zonas puntuales y validaciones en campo de datos arrojados por estudios nacionales como los de poblamiento.

Se debe destacar que estos últimos resultados vienen acompañados de propuestas de estrategias, zonificación y planeación para mitigar o reducir impactos ambientales por parte de las actividades económicas como las mineras y extractivas en general.

Por último, el tomo III del IEARNR v 2014, presenta los resultados del monitoreo y evaluación de las diferentes variables que caracterizan el estado de la calidad de los recursos y del medio ambiente, principalmente, la calidad ambiental que compromete la salud de la población. La exposición al riesgo de afectación por efecto de aguas o aire contaminado que puede comprometer un número significativo de habitantes de zonas urbanas y otros tantos en zonas rurales, especialmente a la población más vulnerable, cuyo seguimiento es un compromiso de todos los países del mundo.



*Fotografía: Raining Colors (Héctor Pabón, Bogotá D.C.)*

## Tomo I

Colombia afectada por El Niño y La Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años.



*Fotografía: Glaciar Ritacuba (Jorge Luis Ceballos)*

## AUTORES Y COLABORADORES TOMO I

---

Luis Alfonso López Alvarez de la Subdirección de Meteorología IDEAM, Héctor Raúl Pabón de la Subdirección de Estudios Ambientales IDEAM, Jorge Luis Ceballos, Subdirección de Ecosistemas. IDEAM y Franklyn Ruiz, Guillermo Armenta, Jennifer Dorado y Andrea Rodríguez de la Subdirección de Meteorología IDEAM.

## Tabla de Contenido Tomo I

<b>1.1</b>	<b>Efectos de la Oscilación del Sur – ENOS, en sus fases fría La Niña y cálida El Niño, en la precipitación y la temperatura para el periodo 2012-2014.</b>	<b>37</b>
<b>1.2</b>	<b>Evidencias de cambio climático Global en el Territorio Nacional y su Exposición en las proximas Decadas.</b>	<b>51</b>
1.2.1	UNA BREVE HISTORIA La Modelación del Cambio Climatico.	52
1.2.2	Retroceso de los glaciares en Colombia como evidencia del Cambio Climático Global	66
1.2.3	Escenarios de cambio climático bajo estándares del quinto reporte ar5 de ipcc (Propuesta analítica sobre cambio climático).	71
<b>1.3</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>89</b>

## Tabla de Figuras

Figura 1.1-1. Mapas de anomalías de precipitación para el año 2012. Fuente IDEAM.....	39
Figura 1.1-2. Mapas de anomalías de temperatura media para el año 2012. Fuente IDEAM. ....	41
Figura 1.1-3. Mapas de anomalías de precipitación para el año 2013. Fuente IDEAM.....	43
Figura 1.1-4. Mapas de anomalías de temperatura media para el año 2013. Fuente IDEAM. ....	45
Figura 1.1-5. Mapas de anomalías de precipitación para el año 2014. Fuente IDEAM.....	47
Figura 1.1-6. Mapas de anomalías de temperatura media para el año 2014. Fuente IDEAM. ....	49
Figura 1.2-1. Grafica original de variaciones de temperatura por Guy Stewart Callendar en <a href="https://theconversation.com/a-brief-history-of-climate-science-18578">https://theconversation.com/a-brief-history-of-climate-science-18578</a> .....	53
Figura 1.2-2. Concentraciones de CO <sup>2</sup> Atmosféricas medidas y aproximadas. Tomada de Scott Doney en <a href="http://www.globalwarmingart.com/">http://www.globalwarmingart.com/</a> .....	54
Figura 1.2-3. Escenarios de CO <sup>2</sup> atmosférico en el Primer Informe del Clima (IPCC, 1990) .....	55
Figura 1.2-4. Cambio observado de temperatura frente a la contribución de factores naturales (solar, volcánico y orbital). En <a href="http://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/">http://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/</a> .....	56
Figura 1.2-5. Desviaciones estándar de Temperatura en el Tercer Informe del Clima (IPCC 2001) .....	57
Figura 1.2-6. Numero de Desastres por año en <i>Blue Carbon</i> (2009) basados en (Hoyois et al.,2007).....	58
Figura 1.2-7. Anomalías de la temperatura superficial de áreas cálidas y frías en Jun-Jul-Ago, respecto a 1951-1980 (Hansen et al., 2012) .....	58
Figura 1.2-8. Componentes Forzamiento Radiativo .....	59
Figura 1.2-9. Comparación de los Escenarios SRES y RCP en relación al aumento de temperatura en (Knutti & Sedláček, 2013) .....	60
Figura 1.2-10. Comparativo del Riesgo de Cambio Climático con base en los 3th, 4th and 5th Informe de Análisis del IPCC.....	61
Figura 1.2-11. Puntos de Inflexión de ecosistemas frente al límite de 2º y los RCPs (Rockström, 2015 basado en Lenton <i>et al.</i> , 2007) .....	62

Figura 1.2-12. Acenso del Nivel del Mar en abajo (UCS, 2013) y arriba (NASA, 2015) .....	63
Figura 1.2-13. Curva de <i>Keeling</i> para el 17 Nov 2015 en <a href="https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/">https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/</a> .	63
Figura 1.2-14. Emisiones Globales incluyendo los iNDCs en: <a href="https://www.climateinteractive.org/tools/scoreboard/">https://www.climateinteractive.org/tools/scoreboard/</a> .....	64
Figura 1.2-15. iNDC de Colombia en <a href="http://climatecollege.unimelb.edu.au/indc-factsheets">http://climatecollege.unimelb.edu.au/indc-factsheets</a> .....	65
Figura 1.2-16: Balance de masa mensual glaciar Conejeras, Nevado de Santa Isabel (2006-2014).....	67
Figura 1.2-17: Balance de masa anual, glaciar Conejeras, Nevado de Santa Isabel (2006-2014) .....	68
Figura 1.2-18: Balance de masa mensual glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada de El Cocuy o Gûicán (2008-2014).....	69
Figura 1.2-19: Balance de masa anual glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada de El Cocuy (2008-2014) .....	69
Figura 1.2-20: Relación entre el balance de masa y ENSO ("El Niño" Southern Oscillation) 2006-2014.....	70
Figura 1.2-21: Distribución espacial del cambio de la temperatura media del aire proyectado para el periodo 2011-2040 con respecto al periodo de referencia 1976-2005. ....	78
Figura 1.2-22. Distribución espacial del cambio de la temperatura media del aire proyectado para el periodo 2041-2070 con respecto al periodo de referencia 1976-2005. ....	79
Figura 1.2-23. Distribución espacial del cambio de la temperatura media del aire proyectado para el periodo 2071-2100 con respecto al periodo de referencia 1976-2005. ....	80
Figura 1.2-24. Cambio porcentual (%)de la precipitación proyectado en el periodo 2011-2040 frente al periodo 1976-2005 para Colombia según los RCP. ....	81
Figura 1.2-25. Cambio porcentual (%) de la precipitación proyectado en el periodo 2041-2070 frente al periodo 1976-2005 para Colombia según los RCP. ....	82
Figura 1.2-26. Cambio porcentual (%) de la precipitación proyectado en el periodo 2071-2100 frente al periodo 1976-2005 para Colombia según los RCP. ....	83

## Tablas

Tabla 1.2-1. Cambios en la temperatura media (°C) con su incertidumbre ( $\pm$ °C) proyectados por el ensamble multiescenario para los departamentos de Colombia. ....	85
Tabla 1.2-2. Cambios porcentuales en la precipitación (%) con su incertidumbre (%) proyectados por el ensamble multiescenario para los departamentos de Colombia. ....	86
Tabla 1.2-3. Cambios porcentuales promedio en la precipitación (%), clasificados en rangos y en áreas, proyectados por el ensamble multiescenario para Colombia. ....	87

## 1. Colombia afectada por El Niño y la Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años.

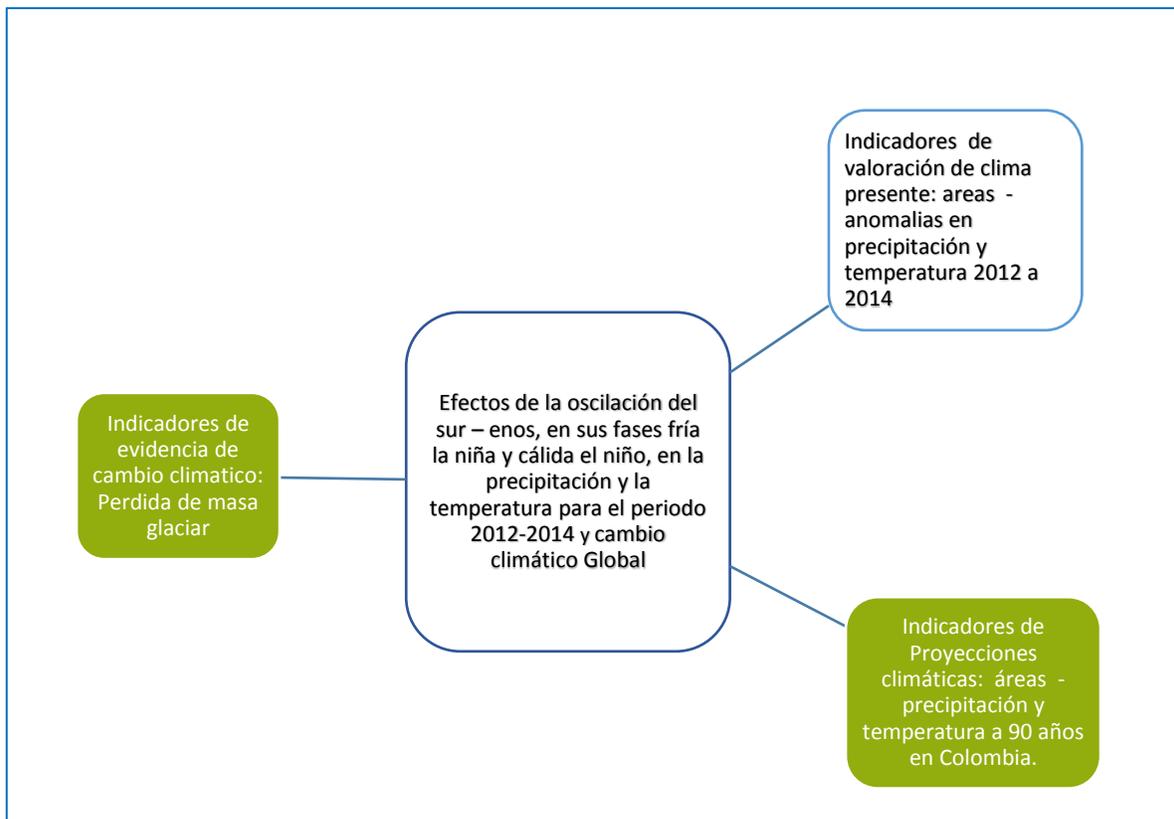
Cuáles son los riesgos climáticos que podrían afectar el territorio Colombiano en los próximos años, es una gran pregunta, que para su respuesta, es imprescindible hacer uso de algunos grupos de indicadores como los presentados en este tomo del informe del Estado del Medio ambiente y los Recursos Naturales y que la Institución actualiza y optimiza anualmente: los de aplicación a la valoración del clima presente, aplicación a la valoración de expectativas del clima futuro y los que dan evidencia de cambio climático. (Se puede observar el marco de indicadores en la ilustración abajo).

El análisis climatológico está sustentado en procesos de investigación que abarcan periodos de tiempo suficientemente amplios que permiten distinguir y calificar las afectaciones de las variables que lo componen, con los mejores niveles de incertidumbre. De esto surge la importancia de las evaluaciones climatológicas realizadas en los diferentes informes del estado del ambiente, dado su esquema de presentación de resultados, que consignan de manera rigurosa y objetiva las evaluaciones realizadas para periodos de tiempo relativamente amplios.

Fue así como, el informe 2010 consigno una evaluación climatológica del 2006 - 2009, el informe 2011 evalúa un periodo de análisis que incluye el 2010 y va hasta el 2013 y el presente informe evalúa los resultados que van desde el año 2011 hasta el año 2014.

La segunda parte de este primer tomo del informe, contienen los principales resultados de las investigaciones del IDEAM desarrollados en torno a la vulnerabilidad del territorio ante las condiciones impuestas por el cambio climático global, específicamente por las condiciones de cambio proyectadas en la temperatura y en la precipitación global para periodos sucesivos de 30, 60 y 90 años. El territorio resultará afectado de manera diferenciada y se vuelve imprescindible para la planificación y ordenamiento del territorio, la disponibilidad de las proyecciones globales y las globales ajustadas al territorio nacional que se exponen en este capítulo.

Mapa de indicadores y avances registrados en los IEARNR.



## 1.1 EFECTOS DE LA OSCILACIÓN DEL SUR – ENOS, EN SUS FASES FRÍA LA NIÑA Y CÁLIDA EL NIÑO, EN LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA PARA EL PERIODO 2012-2014.

*(Autor: Luis Alfonso López Álvarez, Subdirección de Meteorología IDEAM).*

En este último periodo, los hechos más destacados fueron la finalización de un fenómeno La Niña (marzo de 2012) y el inicio de un fenómeno El Niño (octubre de 2014). La mayor afectación en el clima nacional durante éste periodo se debió, en gran medida, a fenómenos de escala sinóptica, los cuales no tuvieron un comportamiento regular en el ciclo de análisis. Incidió mucho el comportamiento anómalo de la Temperatura Superficial del Mar en el Caribe colombiano y el Atlántico Tropical en el déficit de lluvias, particularmente en las regiones Caribe y Orinoquia.

El año 2012 empieza bajo la afectación de un fenómeno La Niña, de intensidad débil, que se dio inicio en el año 2011 (septiembre) y que continúa los tres primeros meses para finalizar en marzo. Si bien este fenómeno fue catalogado como débil, su impacto en las lluvias sobre el territorio nacional fue moderado durante los primeros cuatro meses del año, incidiendo incluso en el comportamiento excesivamente por encima de lo normal en el centro y sur de las regiones Andina y Pacífica (enero), Orinoquia y Amazonia (marzo) y en las regiones Orinoquia, Pacífica, Andina y Caribe durante abril. El resto del año, dicha Oscilación se mantuvo en valores neutrales, sin mayor incidencia en el comportamiento de las lluvias, a pesar que registró un tenue calentamiento en los meses de septiembre y octubre, conllevando con ello déficits de precipitación en el territorio nacional durante los meses de septiembre y noviembre.

Para el año 2013, la Oscilación del Sur – ENOS se mantuvo en el umbral de condiciones neutrales durante todo el año. Durante el año 2014 hubo tendencia al incremento en las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar en el océano Pacífico Tropical, de tal manera que había una altísima probabilidad de inicio de un fenómeno El Niño, el cual finalmente se empieza a formar a partir del mes de octubre.

**Comportamiento de la precipitación año 2012:** El año 2012 se caracterizó por presentar volúmenes de precipitación por encima de los promedios climatológicos particularmente durante los primeros meses del año (enero a abril) asociados con la madurez y disipación del fenómeno La Niña. Las más intensas anomalías de lluvia se presentaron en las regiones Andina y Pacífica los dos primeros meses, luego se extendieron a la Orinoquia y Amazonia en el mes de marzo y durante el mes de abril las precipitaciones más voluminosas se destacaron en la región Caribe.

Los meses de mayo, junio y julio de 2012 se caracterizaron por presentar volúmenes de precipitación cercanos a las normales e incluso deficitarios en las regiones Andina y Pacífica. El mes de agosto tuvo un comportamiento con valores cercanos a los medios climatológicos en gran parte del país, salvo unos ligeros déficits de lluvias al sur de las regiones Andina y Pacífica, y excesos ligeramente por encima de lo normal en la región Caribe. Para septiembre de 2012 la condición fue deficitaria en vastos sectores del territorio nacional, condición que tendió hacia la normalización en el mes de octubre, el cual presentó ligeros excesos de lluvia al norte de la región Caribe. Noviembre y diciembre fueron ligeramente excesivos en las regiones Orinoquia y Amazonia y deficitarios en el resto del país. (Figura 1.1-1.)

## Como los científicos definen un periodo de tiempo bajo condiciones Niño o Niña a escala global.

En términos operativos para definir el lapso de tiempo durante el cual el planeta se encuentra bajo condiciones El Niño o La Niña, se conoce como “Definición operacional de la NOAA para fenómeno El Niño y La Niña”; este es un valor que resume apreciablemente la complejidad de una serie de procesos físicos de interacción océano-atmósfera. Dicho valor es conocido como Índice Oceánico de El Niño (ONI por sus siglas en inglés) y solo representa la manifestación oceánica del fenómeno ENOS (El Niño – Oscilación del Sur) en términos de la alteración o anomalía trimestral de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) respecto a sus valores promedios históricos sobre el área central de la cuenca del Océano Pacífico Tropical, conocida como la Región Niño 3.4. Las condiciones de este indicador para definir un evento El Niño y/o La Niña son:

**El Niño:** Se caracteriza por un valor de ONI positivo mayor o igual a + 0.5°C que se registra durante un mínimo de 5 trimestres consecutivos con base en promedios trimestrales de la TSM en la Región Niño 3.4.

**La Niña:** Se caracteriza por un valor de ONI negativo menor o igual a - 0.5°C que se registra durante un mínimo de 5 trimestres consecutivos con base en promedios trimestrales de la TSM en la Región Niño 3.4.

Por lo anterior, la NOAA y otros centros internacionales que monitorean la evolución del clima, incluida la Organización Meteorológica Mundial (OMM), han declarado que durante el año 2015 evolucionó un fenómeno El Niño, ya que se superaron los umbrales de + 0.5°C (rojo) durante un período superior a 5 trimestres consecutivos.

Indice ONI Historico.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0.0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7			



**Región Andina:** Evidente afectación por el fenómeno La Niña durante los primeros cuatro (4) meses del año, los cuales se caracterizaron por presentar volúmenes de precipitación por encima de los promedios históricos. El resto del año osciló alrededor de los valores promedios, salvo el mes de septiembre, el cual se caracterizó por presentar volúmenes moderadamente deficitarios.

**Región Caribe:** Salvo los meses de abril, mayo, agosto y octubre, presentó anomalías negativas en los volúmenes de precipitación para el año 2012. Predominó la afectación derivada de las anomalías negativas en la Temperatura Superficial del Mar en el océano Atlántico tropical y el Caribe colombiano, lo que disminuyó la intensidad y frecuencia de sistemas tropicales (Ondas y Ciclones Tropicales) que transitan por el Caribe colombiano, especialmente en el segundo semestre.

**Región Pacífica:** Con importantes volúmenes de precipitación durante los primeros cuatro meses del año, evidenciando una muy buena afectación correlacionada con el enfriamiento del Pacífico tropical, el resto del año transcurrió con valores cercanos a los normales o ligeramente deficitarios.

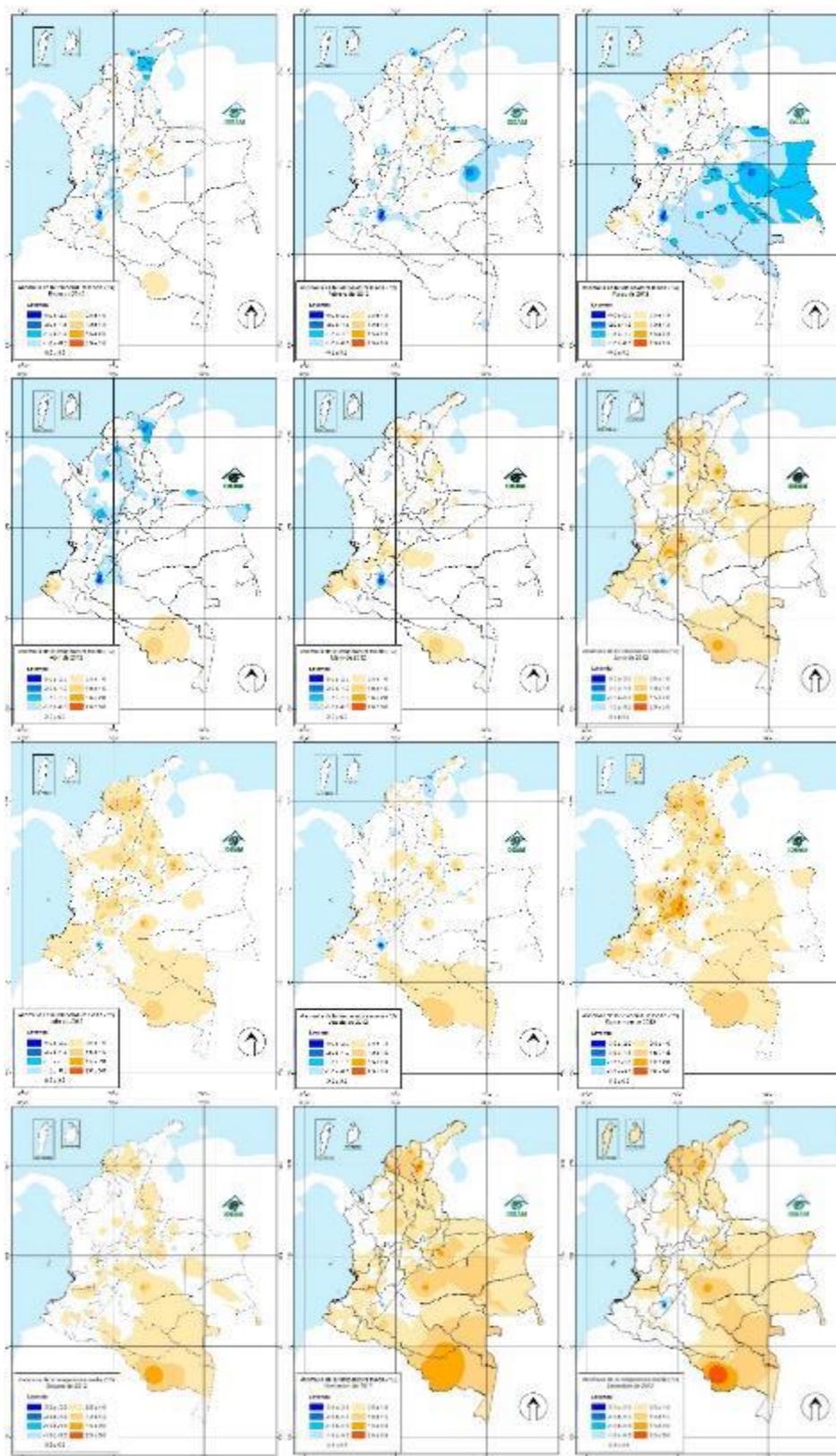
**Orinoquia:** Si bien dicha región no responde en gran medida a la Oscilación del Sur, fue afectada notoriamente en los meses de marzo y abril, por este fenómeno de Variabilidad Climática, con aportes importantes en los volúmenes de lluvia.

**Amazonia:** Fue la región que menos se afectó por el fenómeno de La Niña, oscilando alrededor de los valores medios, ligeramente por encima o por debajo de ellos.

**Comportamiento de la temperatura media año 2012:** El año 2012 se caracterizó por presentar, durante el primer semestre, valores cercanos a los promedios climatológicos en todo el territorio nacional, salvo el mes de marzo, en el cual las temperaturas medias tuvieron un comportamiento ligeramente por debajo de lo normal en la región de la Orinoquia, en una tímida respuesta al fenómeno de La Niña.

El segundo semestre se caracterizó por presentar valores entre ligera y moderadamente por encima de los promedios históricos en gran parte del territorio nacional, y particularmente en las regiones Andina y Caribe. Los meses de noviembre y diciembre se destacan como los más cálidos del año (Figura 1.1-2).

Figura 1.1-2. Mapas de anomalías de temperatura media para el año 2012. Fuente IDEAM.



**Región Andina:** Durante el primer semestre registró un comportamiento cercano al promedio histórico, sin variaciones importantes, salvo la presentada el mes de junio en el centro de la región (Tolima) con valores altos de anomalía. El segundo semestre fue relativamente más cálido que el primero, aun cuando las anomalías se mantuvieron ligeramente por encima del promedio.

**Región Caribe:** El primer semestre no se afectó de manera significativa por el fenómeno La Niña y mantuvo un comportamiento regulado, con valores cercanos a los promedios históricos. Para el segundo semestre hubo anomalías positivas, moderadas, en particular al centro y norte de la región (Atlántico, Magdalena, Guajira y Cesar).

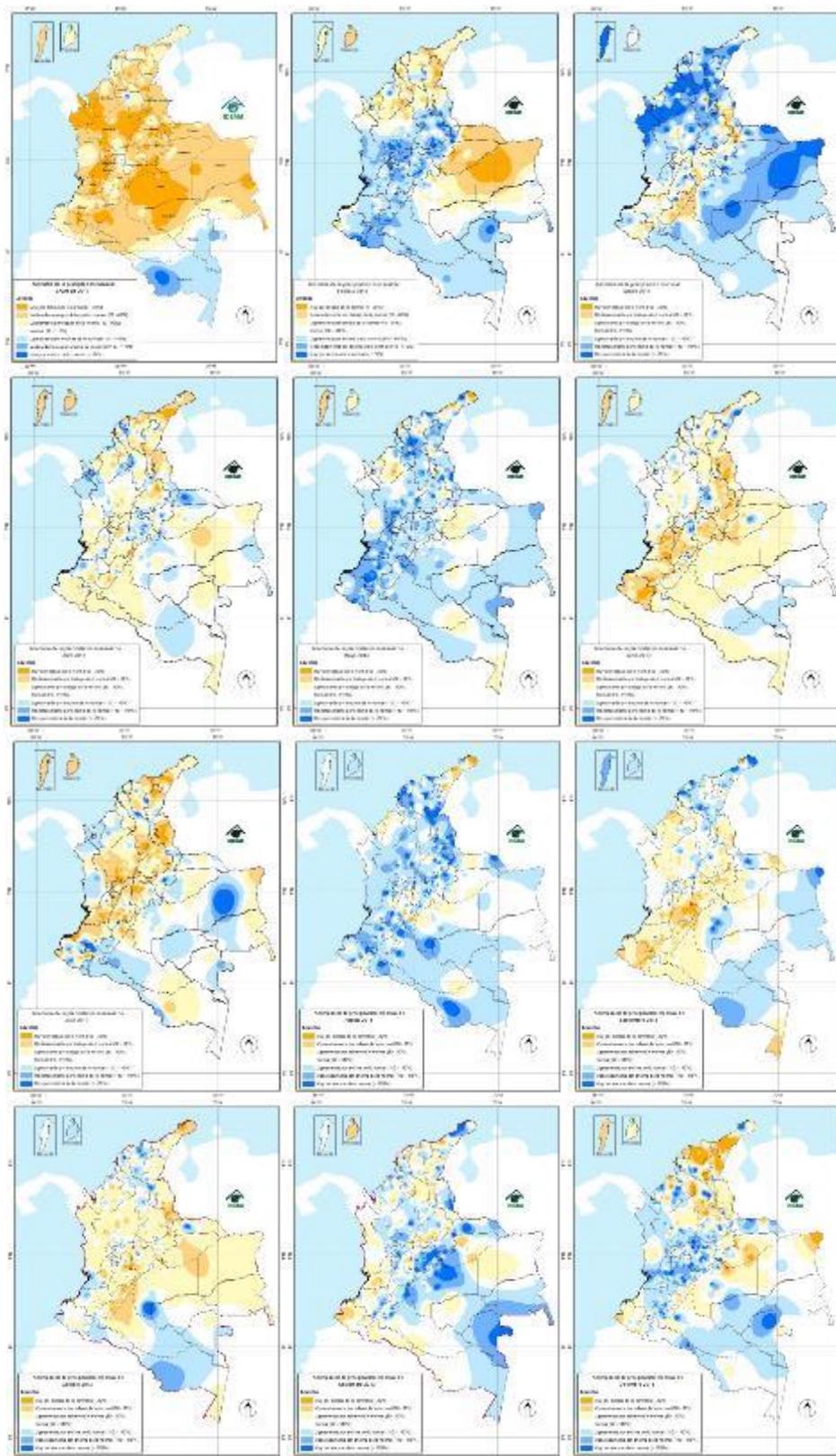
**Región Pacífica:** Sin mayores afectaciones durante el transcurso del año.

**Orinoquia:** Se afectó por la ENOS en el mes de marzo. Los meses de noviembre y diciembre fueron relativamente altos, en correspondencia con la poca interacción entre los sistemas tropicales, y la ZCIT.

**Amazonia:** Registró anomalías positivas de la temperatura media, especialmente al sur de la región al final del año.

**Comportamiento de la precipitación año 2013:** El mes de enero del año 2013, continuó con el déficit en las precipitaciones que se había presentado a finales del 2012 en amplios sectores de la región Caribe, Andina y Pacífica y se extendió a la Orinoquia y el centro y occidente de la Amazonia, como se muestra en la gráfica 2. En febrero se presentaron precipitaciones por encima de lo normal en la región Andina, Pacífica y la Amazonia y déficit en el resto del país. En marzo se presentaron lluvias por encima de lo normal en gran parte del país, destacándose las presentadas en amplios sectores de las regiones Caribe y Orinoquia. Entre abril y octubre se presenta un comportamiento característico, en el cual, hay meses con déficits de lluvias en gran parte del país (abril, junio, julio, septiembre y octubre) y meses en los que las precipitaciones se presentan por encima de lo normal en amplios sectores del territorio nacional (mayo y agosto). En noviembre y diciembre se presentan amplios sectores en el país donde hay déficit de lluvias y también algunos sectores con lluvias por encima de lo normal, principalmente en la región Andina, sur de la región Caribe, occidente de la Orinoquia y el oriente de la Amazonia (Figura 1.1-3).

Figura 1.1-3. Mapas de anomalías de precipitación para el año 2013. Fuente IDEAM.



**Región Andina:** La mayor afectación positiva en las lluvias se presentó durante los meses de febrero, mayo, agosto, noviembre y diciembre. Enero fue el mes más deficitario para la región.

**Región Caribe:** Salvo los meses de marzo, mayo y agosto, presentó anomalías negativas en los volúmenes de precipitación para el año. El segundo semestre se afectó particularmente por el enfriamiento anómalo de océano Atlántico y el Mar Caribe, razón por la cual hubo bajos aportes en los volúmenes de lluvia en casi toda la región.

**Región Pacífica:** Con volúmenes de precipitación entre ligera y moderadamente por encima de los promedios durante los meses febrero, marzo, mayo, agosto y diciembre, el resto del año tuvo afectación ligeramente deficitaria.

**Orinoquia:** Enero y febrero fueron los meses más secos del año mientras que marzo fue el más húmedo.

**Amazonia:** Su promedio anual fue ligeramente por encima de los promedios históricos.

**Comportamiento de la temperatura media año 2013:** El año se mantuvo con valores entre los promedios históricos y ligeramente por encima de ellos (Figura 1.1-4).



*Fotografía: White (Héctor Pabón, Bogotá D.C.)*



Los meses más cálidos del año fueron enero, abril, junio y septiembre.

**Región Andina:** No registró un comportamiento uniforme durante el año, y se alternó entre meses cálidos y normales, intercalados. Enero fue cálido y febrero normal, manteniendo, en términos generales, este comportamiento mes a mes.

**Región Caribe:** El año tuvo registros cercanos a los promedios históricos e incluso ligeramente superiores. El mes más normal fue agosto.

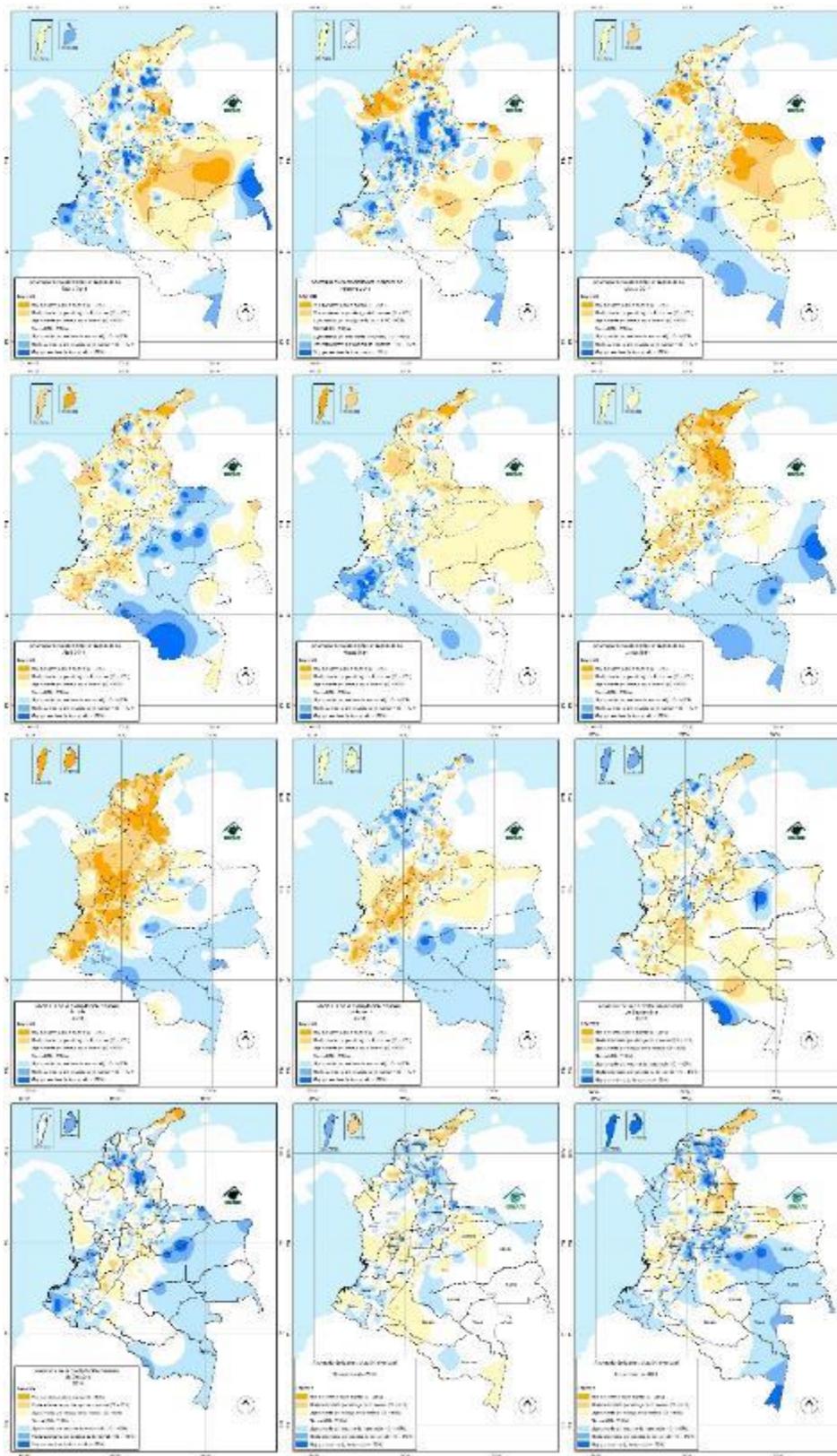
**Región Pacífica:** Sin mayores afectaciones durante el transcurso del año, presentó el mes más cálido en enero.

**Orinoquia:** Condición cercana a la normal climatológica, con dos meses cálidos, enero y abril.

**Amazonia:** Registró anomalías positivas de la temperatura media, especialmente al sur de la región, en los meses de enero, junio y julio.

Comportamiento de la precipitación año 2014: El primer semestre se caracterizó por tener condiciones neutrales de la ENOS, con probabilidad alta de inicio de un fenómeno El Niño para el segundo semestre. Este se consolida finalmente en el mes de octubre, y para el trimestre octubre-noviembre-diciembre, tiene una intensidad débil. Su impacto se siente muy tenue, debido a que no muestra un buen acoplamiento océano-atmosfera. Las precipitaciones se afectan diferencialmente en las regiones del país, asociadas con la interacción de otros sistemas de escala sinóptica, como la temporada de Ondas y ciclones (por debajo del promedio) y la Temperatura Superficial del Mar en el Caribe colombiano (anomalías ligeramente inferiores a los promedios), entre otros (Figura 1.1-5).

Figura 1.1-5. Mapas de anomalías de precipitación para el año 2014. Fuente IDEAM.



**Región Andina:** Los meses de enero, febrero, mayo y diciembre fueron los que registraron anomalías positivas, entre ligera y moderadamente por encima del promedio. El resto del año predominó el comportamiento anómalo, entre ligera y moderadamente deficitario.

**Región Caribe:** El primer semestre fue predominantemente deficitario, teniendo una ligera recuperación en las lluvias desde el mes de agosto hasta diciembre. La zona con menor registro de lluvias fue el departamento de la Guajira.

**Región Pacífica:** Con volúmenes de precipitación entre ligera y moderadamente por encima de los promedios, los trimestres primero y cuarto fueron los más notorios. Salvo el mes de mayo, el cual registró anomalías positivas al sur de la región, los trimestres segundo y cuarto fueron deficitarios.

**Orinoquia:** Pocos meses tuvieron anomalías positivas, de los cuales se destacaron abril, octubre i diciembre. Los demás fueron deficitariamente anómalos.

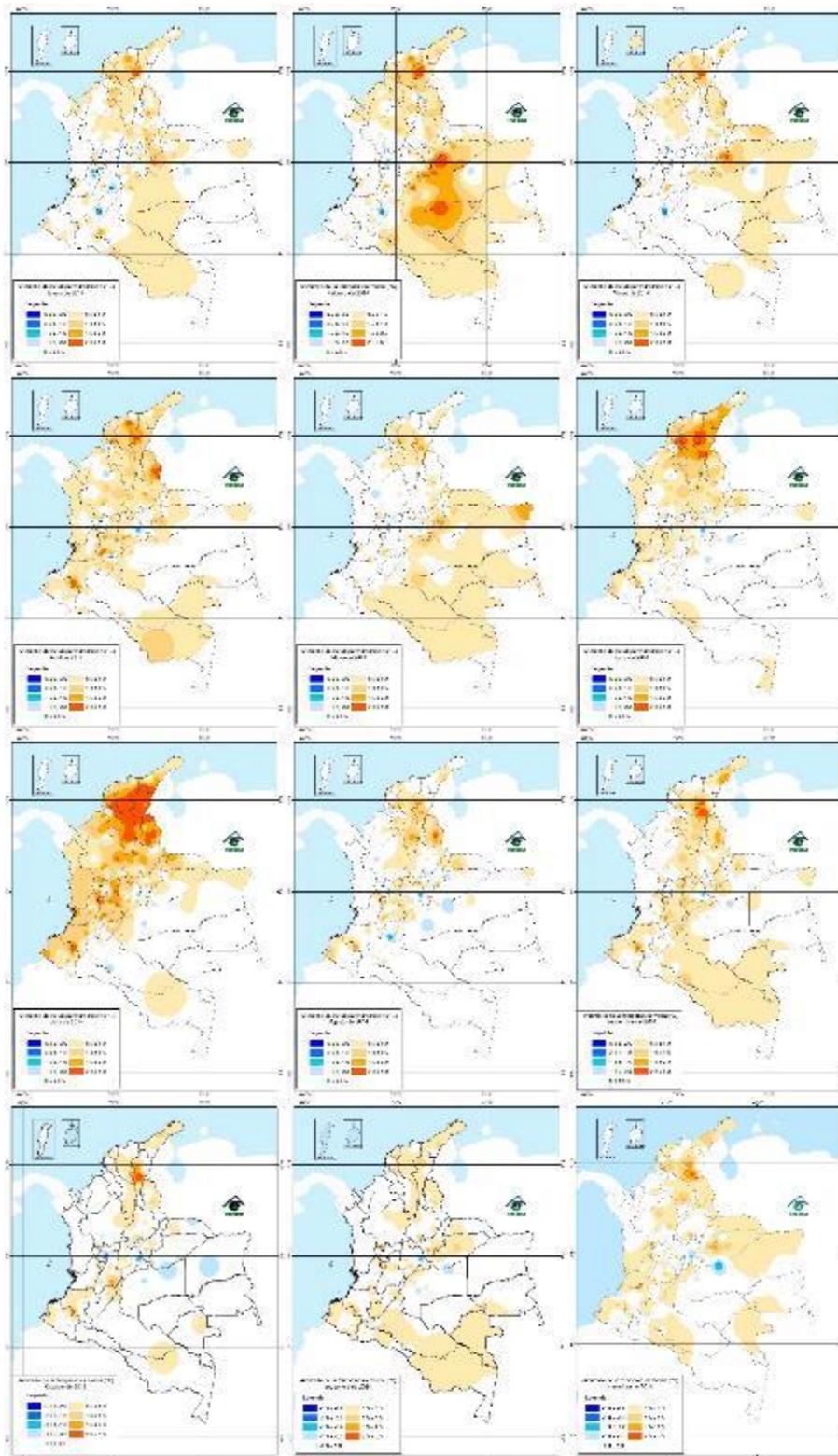
**Amazonia:** Su promedio anual fue ligeramente por encima de los promedios históricos, siendo la región del país que menos afectación deficitaria presentó.

Comportamiento de la temperatura media año 2014: El año se mantuvo con valores entre los promedios históricos y por encima de ellos Figura 1.1-6 los meses más cálidos fueron febrero y julio.



*Fotografía: (Héctor Pabón)*

Figura 1.1-6. Mapas de anomalías de temperatura media para el año 2014. Fuente IDEAM.



**Región Andina:** Los meses de abril, julio y septiembre presentaron anomalías positivas, entre ligera y moderadamente por encima de los promedios. No hubo mayor afectación en cuanto al comportamiento de ésta variable.

**Región Caribe:** Registró durante todo el año anomalías positivas, siendo más intensas al centro y norte de la región, y más cercanas a los promedios históricos al sur.

**Región Pacífica:** Sin mayores afectaciones durante el transcurso del año, los meses de julio y diciembre presentaron anomalías positivas; julio fue el mes más cálido del año.

**Orinoquia:** Febrero, mayo y diciembre se muestran como los meses más cálidos del año. Los demás tuvieron un comportamiento relativamente normal, con anomalías ligeramente superiores a los medios históricos, especialmente en el primer semestre.

**Amazonia:** Registró anomalías entre normales y ligeramente superiores a los promedios durante el año, siendo febrero el mes más cálido.



*Fotografía: Bye Rain (Héctor Pabón, Casanare)*

1.2 EVIDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL EN EL TERRITORIO NACIONAL Y SU EXPOSICIÓN EN LAS PROXIMAS DECADAS.



*PNN Los Nevados, década de los 80's  
Foto: Antonio Flórez*

*PNN Los Nevados, año 2011  
Foto: Jorge Luis Ceballos*



Colombia acaba de firmar el “Acuerdo de París” en Diciembre del año 2015 en París, dirigido a “Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”.

La base de información sobre la cual Colombia suscribe este importante acuerdo, no solo corresponde con las evidencias de cambio climático que percibe en su propio territorio, como por ejemplo la disminución de la masa glaciar, sino en información como la injerencia de los fenómenos El Niño y la Niña que desde el año 1991, han sido relativamente continuos y han impactado ya las actividades socio económicas de una forma significativa y afectado la vida y bienes de la población.

---

### 1.2.1 UNA BREVE HISTORIA LA MODELACIÓN DEL CAMBIO CLIMATICO.

*(Autor: Héctor Raúl Pabón, Subdirección de Estudios Ambientales IDEAM)*

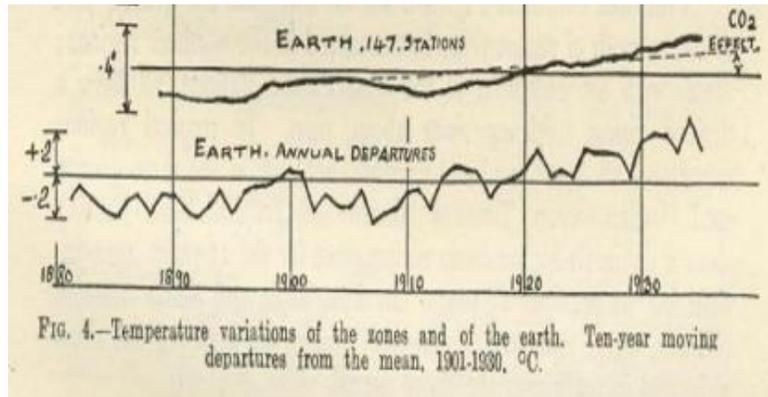
*“Pocos quienes están familiarizados con los intercambios de calor natural de la atmosfera, quienes van a entrar a fabricar nuestros climas y tiempos, estarían dispuestos a admitir que las actividades del hombre podrían tener algún influencia sobre los fenómenos a tan vasta escala” Callendar 1938.*

En una revisión de la historia del cambio climático, encontramos al francés *Jean Baptiste Joseph Fourier*, quién a finales del **Siglo XVIII** realizo una conceptualización del efecto de invernadero bajo la **teoría de temperaturas terrestres**, percatándose de que la atmosfera atrapaba la energía del sol incrementando la temperatura de la tierra. *Jon Tyndall* años después condujo los primeros experimentos sobre las **propiedades de los gases**, estudiando la importancia de la **cantidad de CO<sub>2</sub>** y vapor de agua dada su función de **absorción de calor** en la atmosfera (Fleming J. , Historical Perspective on Climate Change, 1998).

A mediados del **Siglo XIX**, bajo los primeros efectos de la revolución industrial, el premio nobel *Svante Arrhenius* género el **primer modelo climático**, estimando que al doblar el porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmosfera aumentaría la temperatura +4°C (Arrhenius, 1896; Fleming J. , Historical Perspective on Climate Change, 1998) *Thomas Chrowder Chamberlin* incluyo el vapor de agua como un *feedback* al modelo climático (Fleming J. , 1992). Por su parte *James Croll* publicó los primeros cálculos cíclicos relacionando **las fuerzas gravitacionales**, la rotación de la tierra y la reflexión de calor en los polos (Croll J. , 1886; Fleming J. , 2006)

A principios del Siglo XX el serbio *Milutin Milankovic*, basado en *Croll*, calculo cómo las variaciones en la rotación de la tierra (oblicuidad, excentricidad y precesión o **ciclos de Milankovic**) afectaron la distribución de la luz solar causando las glaciaciones millones de años atrás (Weart S. , 2007). *Guy Stewart Callendar* presento las primeras **evidencias científicas sobre el incremento de la temperatura** en la tierra, alrededor de 0.3°C en los últimos 50 años llamándolo el *efecto Callendar*, (Figura 1.2-1) siendo uno de los pioneros y principales precursores de las investigaciones en el tema (Hawkings & Jones, 2013; Fleming J. , 1992).

Figura 1.2-1. Grafica original de variaciones de temperatura por Guy Stewart Callendar en <https://theconversation.com/a-brief-history-of-climate-science-18578>



Por otra parte la importancia y **sensibilidad de los glaciares** al aumento en la temperatura dió paso a la *Comisión Internacional de Glaciares* realizada en Suiza en 1894 y dos años más tarde al *Servicio Mundial de Monitoreo del Glaciar (WGMS)* quienes realizaron el seguimiento a sus variaciones. (WGMS, 2012)

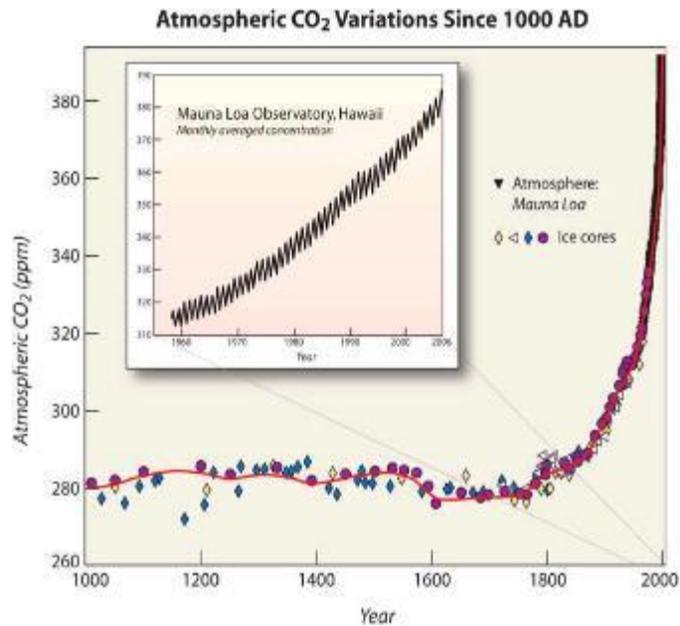
A mitades del siglo XX se desarrollaron muchos aportes al tema, entre ellos los resultados de *Gilbert Plass*, quien en 1955 presento cálculos detallados sobre como el **CO<sup>2</sup> absorbe la energía infrarroja** y se torna invisible a la luz ultravioleta (Weart S. , 2007).

*Roger Revelle* y *Hans Suess* realizo el primer modelo climático que **integro los océanos, la atmosfera y el clima**, re-afirmando la alarma que *Arrhenius* promulgo sobre el incremento de la temperatura debido al incremento del CO<sup>2</sup> atmosférico, dada la imposibilidad del océano en absorber la cantidad que estaba siendo emitida en la época, desequilibrando el balance térmico de la tierra (Revelle & Suess, 1957)

En esta misma época se empezó a realizar un seguimiento detallado de cambios en la longitud, área, volumen y masa en algunos glaciares de Europa, Norteamérica y Asia, que dieron paso a las publicaciones de “*Fluctuación de los Glaciares*” y años después al seguimiento global de sus cambios, incluyendo causas, efectos y predicciones futuras.

Los **análisis de isotopos** realizados por *Casare Emiliani* en las profundidades del océano y *Willi Dansgaard* en los cascos polares, mostraron que las variaciones de temperatura de los **climas paleolíticos** estaban relacionados con cambios en la orbitas terrestres y los volcanes en la parte inferior de la Figura 1.2-2 (Weart S. , 2007) En los 60's *Charles Keeling* en Mauna Loa, presentó las mejores mediciones sobre la tendencia fluctuante y creciente del **CO<sup>2</sup> en la atmosfera**, explicando esa variación por el ciclo vegetal de los climas templados en primavera (incorporación de CO<sup>2</sup> por la hojas) y otoño (liberación de CO<sup>2</sup>) generando las bases de análisis que posteriormente refinadas y validadas dan como resultado los que se presentan en la parte superior de la Figura 1.2-3 (Fleming J. , 1998).

Figura 1.2-2. Concentraciones de CO<sub>2</sub> Atmosféricas medidas y aproximadas. Tomada de Scott Doney en <http://www.globalwarmingart.com/>



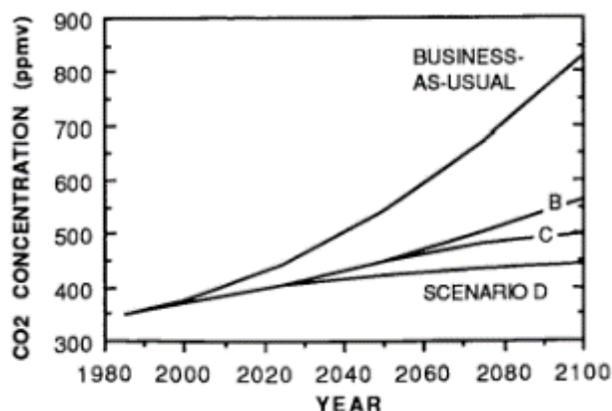
Estas evidencias y avances en el conocimiento del **sistema climático global** permitieron realizar afirmaciones sobre su **sensibilidad**, afectación y sus múltiples efectos en todas las escalas, por ejemplo el derretimiento de masas de hielo de los polos y los glaciares, que suscito el desarrollo de acciones que llevaron a crear **instituciones internacionales** como el *Programa Internacional Global de Investigación Atmosférica* en 1967 y tres años después la *Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EU* (Weart S. , 2007).

**Entrado en los 70's la tecnología espacial permitió grandes avances**, Paul Crutzen revelo el agotamiento de la capa de ozono por los cloro-fluorocarbonados (CFC). Para **1976 se demostró que los CFC y el metano (CH<sub>4</sub>) también contribuyen al efecto de invernadero** y que los largos periodos sin manchas solares se relacionaban con periodos fríos. En 1979 la *Primera Conferencia del Clima* dio paso al *Programa de Investigación de Clima Mundial* que empezó a coordinar las investigaciones a nivel global (Weart S. , 2007).

En la década de los 80's la preocupación científica creció aún más, y más evidencias empezaron a sumar, influenciado la escena política y legal, a nivel internacional. En el famoso *Protocolo de Montreal* de la *Convención de Viena* en 1987, se impuso la **primera restricción internacional** sobre las emisiones de CFC agotaban la capa de ozono. Un año más tarde, se realizó la reunión sobre *La Atmosfera Cambiante* en Toronto y James Hansen de NASA comunico personalmente su preocupación al Congreso de los Estados Unidos sin recibir una respuesta favorable, en ese mismo año fue establecido el *Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC*, que lidera las investigaciones climáticas hasta el día de hoy (Sachs, 2015).

El Primer Reporte de Análisis del Clima Global fue publicado en 1989, los resultados de Grupo de Trabajo 1<sup>1</sup> reunieron las evidencias sobre las bases científicas del sistema climático, su cambio y su relación con los gases efecto de invernadero, mostrando como ha venido aumentando la temperatura terrestre, así como las proyecciones de los **posibles escenarios futuros** a partir de asumir la contaminación de GEI, el uso de la tierra y las decisiones y acciones socio-económicas direccionantes (Figura 1.2-3) (IPCC, 1990).

Figura 1.2-3. Escenarios de CO<sub>2</sub> atmosférico en el Primer Informe del Clima (IPCC, 1990)



La *Segunda Conferencia Mundial del Clima*, fue realizada en 1990 en Tuvalu, dos años más tarde los líderes del mundo se reúnen en **Rio de Janeiro**, en la Convención de Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo más importante en la historia, dando paso a las Convenciones: sobre Biodiversidad, Desertificación y la *Convención Marco sobre Cambio Climático* (UNFCCC) firmada por 154 países y la Unión Europea, adicionalmente suscito la Agenda 21 (Barnett, 2015; United Nations, 1992)

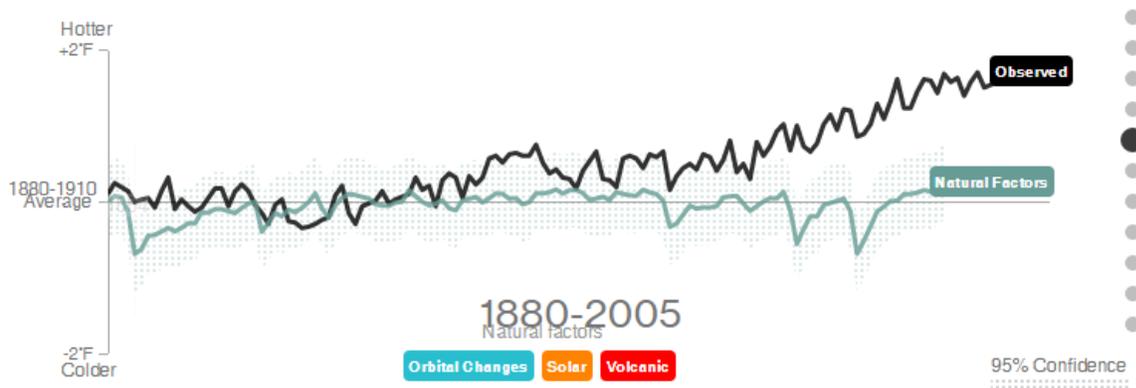
La estructura de la **UNFCCC** se compone básicamente de **26 Artículos**, que en resumen fijan compromisos para reducir o estabilizar las emisiones entre países desarrollados Anexo 1 y no Anexo 1 (Art4) para evitar efectos peligrosos del cambio del clima (Art2), principalmente el aumento del nivel del mar, de la temperatura y de la ocurrencia de eventos extremos, bajo el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas (Art3), estableciendo las *Conferencias de las Partes COP* (Art7) como espacio para las negociaciones, discusiones y acuerdos (United Nations, 1992)

Además de las evidencias y presiones científicas responsables y comprometidas con el ambiente, se generaron **corrientes de escépticos**, principalmente bajo intereses y patrocinios económicos como los de *Rupert Murdoch* y *los hermanos Koch*. Indicando por ejemplo que los cambios de temperatura estaban relacionados con las manchas solares, ciclos naturales de la tierra y otras teorías ya descartadas (Sachs,

<sup>1</sup> El IPCC conforma de 3 grupos de trabajo: Grupo1. Bases Científicas del Clima, Grupo2. El Riesgo, Grupo3. La Mitigación.

History of Climate Change Science, 2015). En la Figura 1.2-4 se presentan la suma la contribución de estos factores naturales (solar, volcánica y orbital) al cambio observado de temperatura.

Figura 1.2-4. Cambio observado de temperatura frente a la contribución de factores naturales (solar, volcánico y orbital). En <http://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/>



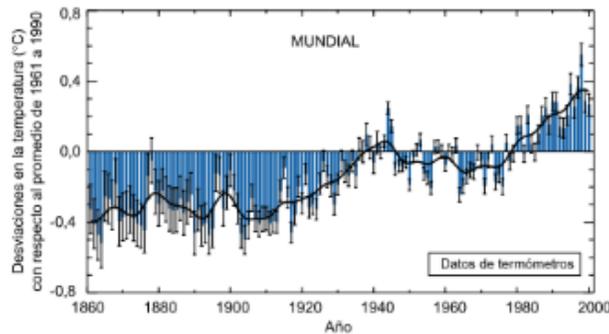
Para destacar el hecho más importante durante las *Conferencias de la Partes (COP)* podríamos decir que en la COP1 en Berlín (1995) se estableció el proceso para fortalecer los compromisos entre las partes conocido como “Mandato de Berlín”, en la COP3 de Kioto (1997) se presentó el *Protocolo de Kioto* como la materialización del compromiso internacional para la reducción de emisiones de GEI (UNFCC, 1998) La COP6 en Bonn (2000), fue escenario del retiro de Estados Unidos de la negociación del Protocolo de Kioto, debilitándolo ya que en aquel entonces era el mayor emisor de GEI. La COP7 en Marrakesh (2001) se establecieron fondos administrados por el *Facilitador Ambiental Global (GEF)* como el fondo para los países menos desarrollados (LDC), el fondo especial de cambio climático (SCCF) y el Fondo de Adaptación, para hacer realidad los compromisos en reducción y adaptación (Barnett, 2015).

Al hacer parte de la Convención Marco UNFCCC, Colombia se compromete internacionalmente a entregar reportes periódicos sobre sus avances en términos de mitigación y adaptación en las comunicaciones nacionales (actualmente también en el informe bianual BUR). La **Primera Comunicación Nacional** de Cambio Climático de **Colombia** ante a la UNFCCC (1) fue publicada en el 2001. Donde se presentó el **inventario nacional de GEI** estimando emisiones de CO<sup>2</sup>eq para 1990 de 129.368 Gg frente a 149.867 Gg en 1994 principalmente debido a las actividades en los sectores de Energía y Agricultura; proponiendo los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) como la iniciativa para su mitigación. Es de reconocer que para ese en el mundo se estaba emitiendo cerca de 30 millones de Gigatoneladas. Se realizó una primera aproximación al análisis de vulnerabilidad Ecosistémica y Humana (IDEAM, 2001).

Para ese mismo año, es publicado el **Tercer Informe de IPCC**, mostrando como la temperatura promedio mundial había aumentado 0,80°C con respecto la época pre-industrial (Figura 1.2-5), y proponiendo como límite los 2°C equivalente cargar 450ppm de CO<sup>2</sup>eq en la atmosfera, sin embargo bajo este escenario el nivel

del mar aumentaría 0.3 a 0.8mt al final del siglo lo que afectaría un gran porcentaje de las ciudades costeras (la mayoría de capitales del mundo). Este límite que fue tomado por la Unión Europea como el objetivo para las reducciones y después se fijó en la conciencia internacional conformando así el Presupuesto Global de Carbono, ya que dentro de las emisiones de GEI es importante el tipo y la cantidad de CO<sup>2</sup>eq emitida anualmente, pero también el histórico de emisiones debido a que gases como el CO<sup>2</sup> se mantiene alrededor de 100 años en la atmosfera, a pesar de que un 60 a 80% es absorbido por el océano causando así su acidificación (IPCC, 2001).

Figura 1.2-5. Desviaciones estándar de Temperatura en el Tercer Informe del Clima (IPCC 2001)



Regresando a los acontecimientos en **COP15 en Copenhague** (2009) la gran expectativa y esperanza puesta en los líderes del mundo, defraudada y las negociaciones fallaron, llegando a débiles acuerdos sin objetivos vinculantes. Así 125 Cabezas de estado, 193 países y 45,000 personas regresaron a casa después de un gran evento pero sin ningún resultado concreto (Barnett, 2015).

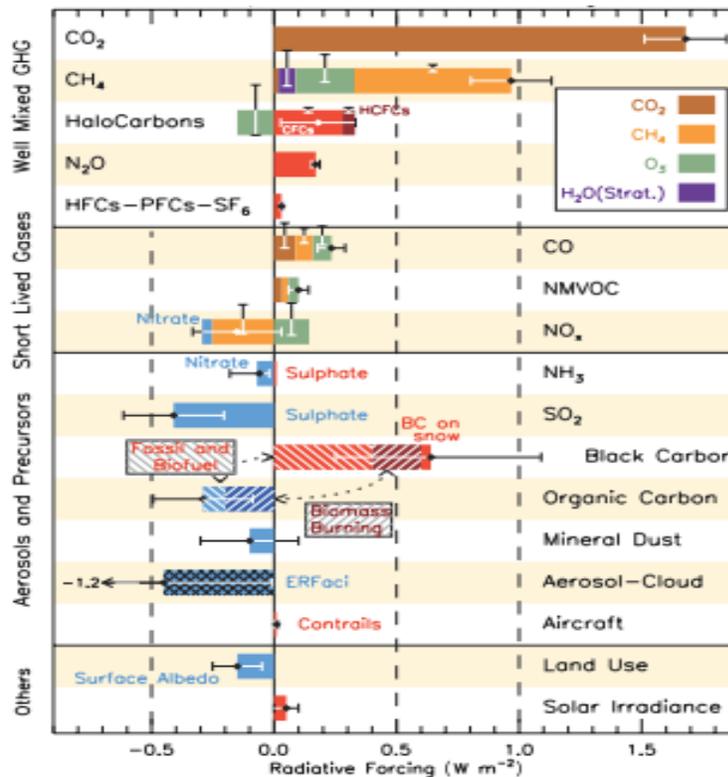
La **segunda Comunicación Nacional** de Colombia frente a la UNFCCC (2010) publica el **inventario de GEI 2000-2004** presentando un total de emisiones para el 2000 de 117.575,35 Gg frente a 180.008,18 Gg para 2004, donde el sector agrícola y energético representaban alrededor del 36% cada uno, relacionado con la quema de combustibles fósiles y la fermentación etérica, para ese entonces China pasó a ser potencia mundial en emisiones absolutas. Dentro los resultados más destacados estaban los **Escenarios de Cambio Climático** para Colombia de temperatura y precipitación, las **predicciones del acenso del nivel del mar** en las costas caribe y pacífica, y de la **contracción de los glaciales** mostrando un retroceso de 25 m por año, de persistir este calentamiento dentro de 30 o 40 años habrán desaparecido. También se presenta el modelo de vulnerabilidad del Cambio Climático, donde de nuevo los páramos y ecosistemas alto andinos posiblemente serían los más afectados (IDEAM, 2010).

Con investigaciones cada vez más robustas, mejor datadas y con resultados cada vez más fehacientes se vienen presentando de las tendencias preocupantes, la revisión anual de desastres publicada por CRED (Hoyois *et al.*,2007) presenta el **incremento de desastres naturales** especialmente los **hidrometeorológicos** (<200 en 1996 a cerca de 400 para 2006), con un pico en el año 2000 de víctimas (700.000.000 muertos y



En el 2014, se publica el Quinto Informe del IPCC en el cual se presentan avances y algunos ajustes de los reportes anteriores. Es de resaltar que ya se presenta una concepción clara del “equilibrio” térmico de la tierra y de los componentes del Forzamiento Radiativo, en la Figura 1.2-8 observando como el  $\text{CO}_2$  es el principal factor de forzamiento radiativo positivo, no solo por la cantidad en que es emitido sino por su duración en la atmosfera (cerca de 100 años), mientras otros factores juegan un papel de feedbacks o factores radiativos negativos que contribuyen a la disminución de la temperatura, entre los cuales están los aerosoles, el albedo y las nubes (IPCC, 2013).

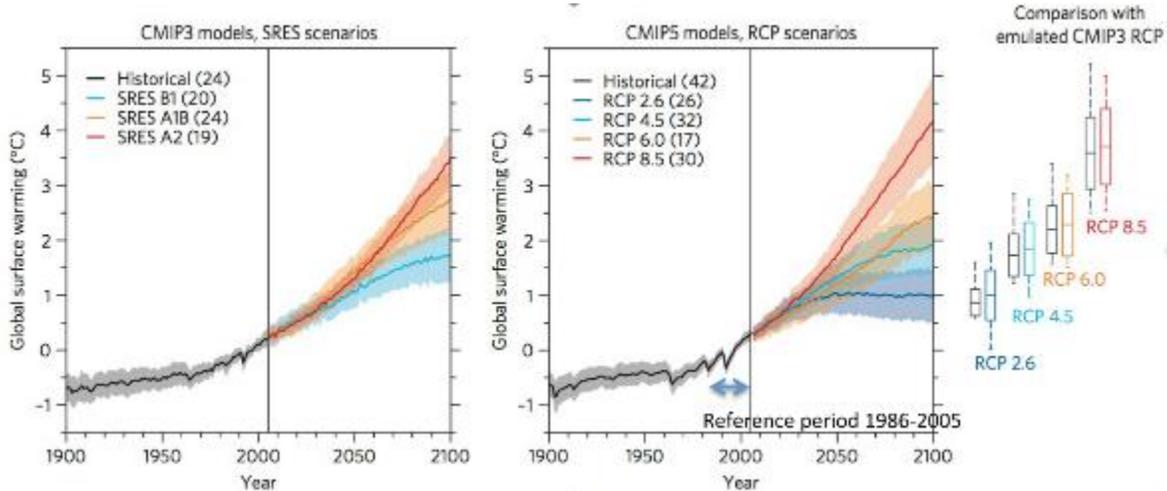
Figura 1.2-8. Componentes Forzamiento Radiativo



Uno de los cambios más significativos en relación los anteriores Informes del IPCC, son los **escenarios futuros**, hasta el cuarto informe se venían trabajado con los escenarios SRES que asumían as concentraciones de GEI en función a las tendencias económicas, siendo el escenario A2 el que representaba la tendencia de la economía sin cambios o “*Business as usual*”, mientras que B1 presentaba el menor aumento de temperatura debido a cambios socio-económicos significativos. En el actual informe se plantean los **Caminos Representativos de Concentración (RCP)** teniendo en cuenta únicamente los componentes del forzamiento radiativo, especialmente las **concentraciones y emisiones de GEI**, los RCP pueden compararse con el crecimiento del forzamiento radiativo en  $\text{W/m}^2$  al 2100, por lo tanto el RCP 8.5 = a  $8.5\text{W/m}^2$ , lo cual implicaría un aumento de temperatura de  $4.3^\circ\text{C}$ , los cuales se asocian a los **Caminos Socio-económicos**

**Compartidos** (SSPs), escenarios que relacionan los retos socio-económicos de adaptación y de mitigación, se asemejan a los SRES así: el SSP1=B1, SSP2=A1 y el SSP3=A2, los SSP4y5 no tienen escenarios SRES similares (IPCC, 2012; WMO, s.f.; IS-ENES, s.f.) . En la Figura 1.2-9 se puede observar la comparación de los escenarios SRES y RCP en relación al aumento de temperatura.

Figura 1.2-9. Comparación de los Escenarios SRES y RCP en relación al aumento de temperatura en (Knutti & Sedláček, 2013)

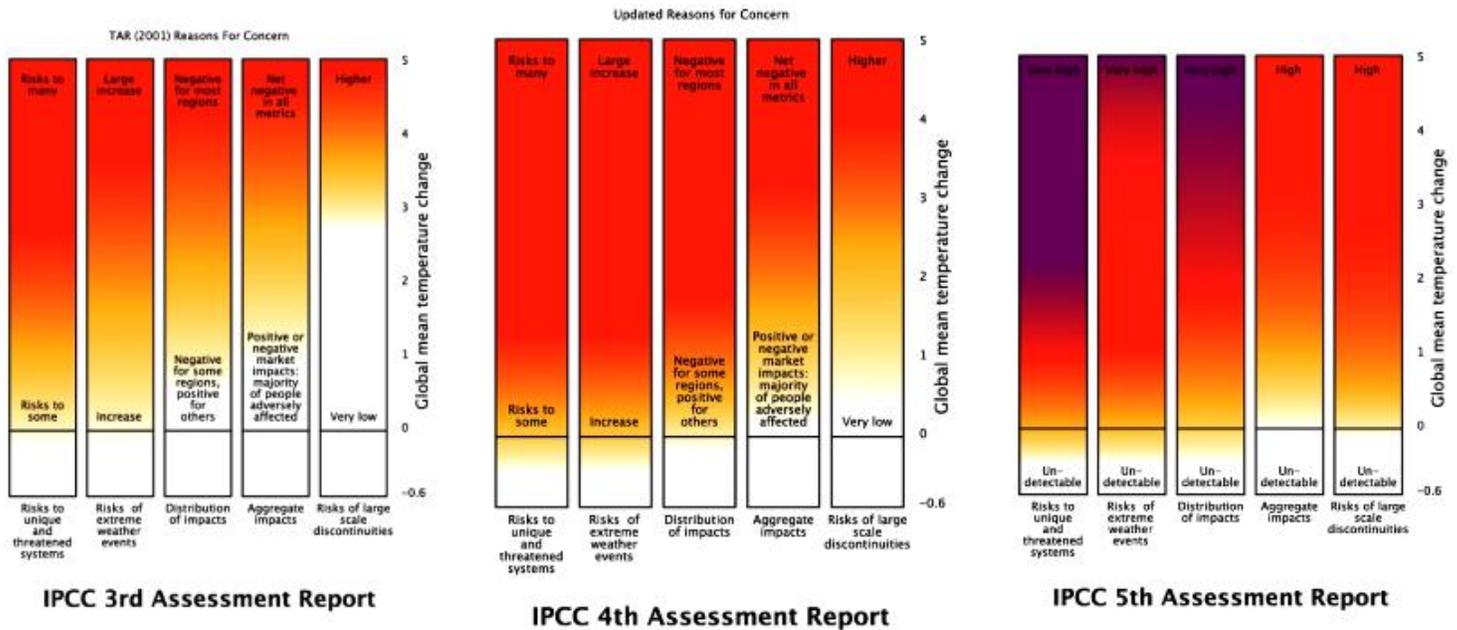


Tal vez el más preocupante de los resultados se presenta en la Figura 1.2-10, a partir de las evidencias científicas de los últimos años el **límite de 2°C** no sería suficiente para **evitar riesgos a escala global**, actual objetivo al que apuntan los acuerdos internacionales para la reducción de emisiones y supuesto que también creó el presupuesto de carbón o *Carbon Budget*. La grafica muestra la comparación del **riesgo en 5** sistemas o **escalas** los últimos informes del clima del IPCC, empezando (*primera columna*) por los riesgos locales en ubicaciones específicas, seguido por el riesgo de los eventos extremos, luego los impactos distribuidos y agregados, y finalmente en el **riesgo a gran escala** (*última columna*); con respecto al aumento de la temperatura. Como se puede apreciar en la quinta columna de los tercero y cuarto informes las evidencias mostraban que solo un aumento de la temperatura mayor a 4°C infringiría en riesgos a escala global, en el quinto informe esta medida baja a **1,5°C** (Smith et al.,2008; IPCC, 2013).



Fuente: Mosaico Chingaza (Subdirección Ecosistemas).

Figura 1.2-10. Comparativo del Riesgo de Cambio Climático con base en los 3th, 4th and 5th Informe de Análisis del IPCC

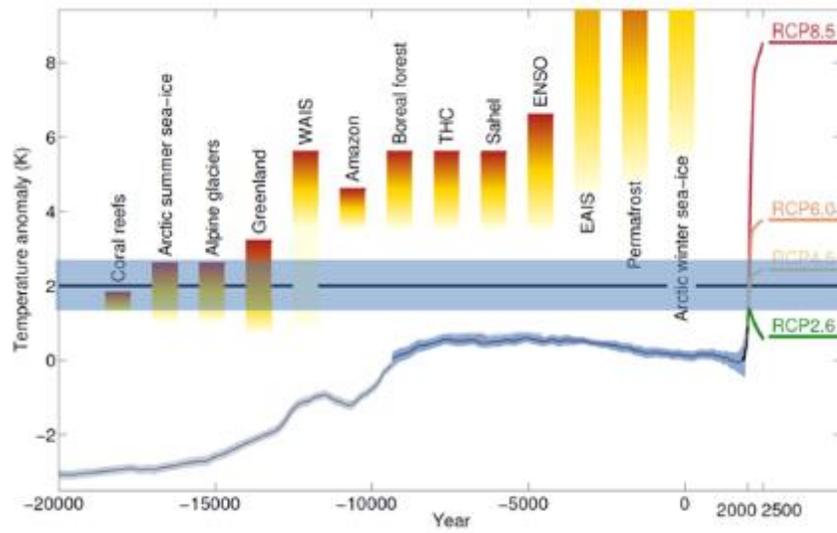


Gran cantidad de investigaciones y estudios están orientados a evaluar los efectos del cambio climático sobre los diferentes sistemas terrestres, dentro de los cuales quizás los más importantes están relacionados con la **afectación de los ecosistemas**, ya que gran parte de la economía y especialmente nuestra producción de alimentos depende de su uso sostenible, y con la **afectación de los grandes centro urbanos** debido al **acenso del nivel del mar**, ya que la mayoría de capitales y puertos comerciales del mundo se ubican zonas costeras.

El cambio climático impacta principalmente los puntos de inflexión o umbrales donde el ecosistema pierde su capacidad parcial o totalmente de auto-regularse, en la Figura 1.2-11 se presentan **los puntos de inflexión** de algunos sistemas debido al aumento de la temperatura según los RCP<sup>2</sup>, basado en la publicación de Lenton *et al.* (2007) Johan Rockström (2015) presenta la siguiente grafica aclarando su gran incertidumbre y estado de revision. El ecosistema más sensibles a presentar puntos de inflexión con temperaturas menores a los 2°C es el **Arrecifes de Coral**, es de considerar el segundo sistema el verano Ártico que en el último año pudo estar relacionado con el crudo invierno europeo, la **Selva Amazónica** presentaría ese punto de inflexión cercano a los 4°C lo que implicaría que grandes extensiones de Bosques terminaran convertidos en Sabanas.

<sup>2</sup> Revisar la Figura 1.4-10. Comparación de los escenarios SRES y RCP en relación al aumento de temperatura

Figura 1.2-11. Puntos de Inflexión de ecosistemas frente al límite de 2º y los RCPs (Rockström, 2015 basado en Lenton *et al.*, 2007)

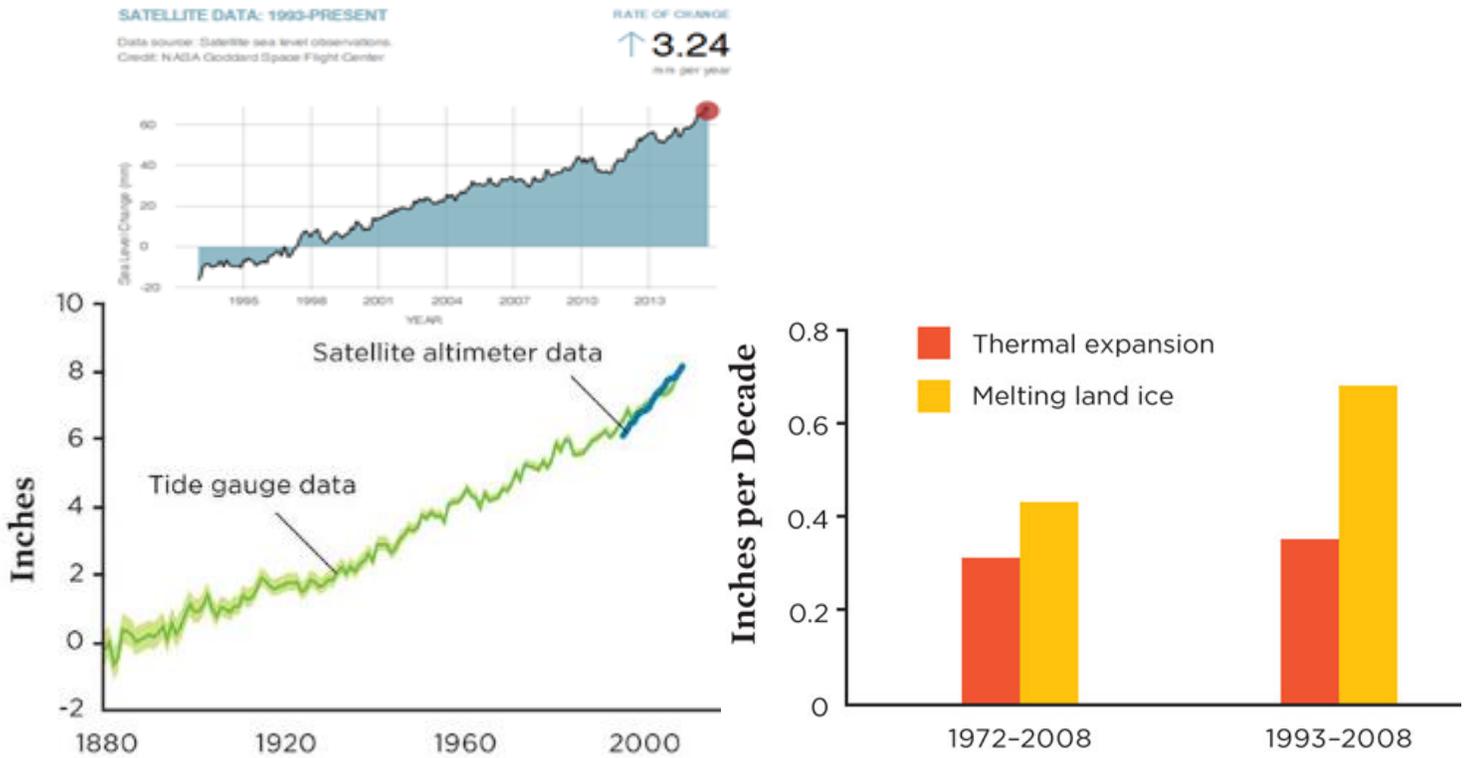


El aumento en la temperatura y la alteraciones en los patrones precipitación en el futuro podrían generar zonas con **climas** cada vez **más secos**, lo cual presentara mayores retos para los diferentes sistemas principalmente para el sector agrícola el cual deberá alimentar una población de 9Billones de habitantes para finales de siglo. Para Colombia según la clasificación climática Lang cerca del 16% del territorio para 2100 será más secos, especialmente por la reducción de zonas húmedas en el amazonas, la expansión de zonas áridas en el caribe (IDEAM, 2010). A nivel global con respecto al periodo 1961-1990 las zonas áridas aumentarían siguiendo el RCP 8.5 en un 23%, mientras que en el RCP 4.5 el amento seria de un 11%, estimando que el 78% de las áreas secas ocurriría sobre los países en desarrollo (Jianping et al., 2015)

El **accenso del nivel del mar** ha generado desde refugiados ambientales en las islas del indo-pacífico hasta numeroso costos en grandes ciudades del mundo (Anthoff et al.,2006). En Colombia el análisis se realizó con un estimado estático de 0.3m para 2030 y de 1m para final de siglo (INVEMAR, 2003), mientras que a nivel global se ha identificado una **aceleración en las tasas de accenso** del nivel del mar, producto de la expansión térmica del océano y el derretimiento de masas de hielo en glaciares y polos (Figura 1.2-12 abajo) y una gran **variabilidad espacial**, relacionada principalmente con los cambios en la salinidad, la circulación oceánica y atmosférica (Stammer et al.,2013; Church & White, 2011). Las actuales mediciones muestran un incremento en la altura de 66.91 mm desde 1998 con una tasa de cando de **3.24 mm por año** (Figura 1.2-12 arriba) (NASA, 2015).

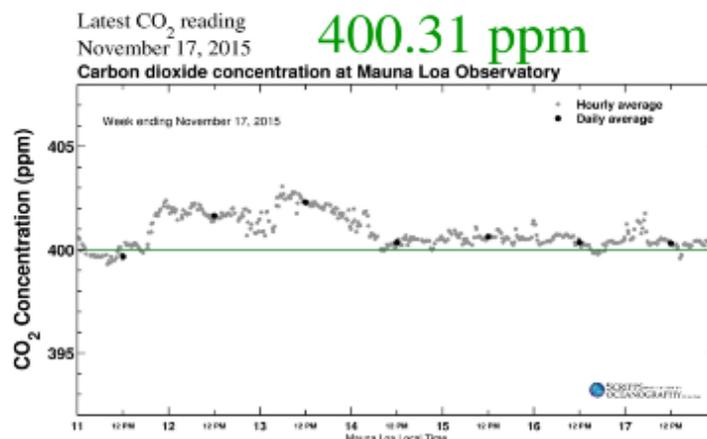
Este entre la mayoría de ejemplos aquí presentados nos hace pensar en la necesidad de un **Servicio Climático Regional** entre países de Latinoamérica, que **permita retroalimentaciones dinámicas** de los modelos globales e incluya las características específicas de la Región.

Figura 1.2-12. Acenso del Nivel del Mar en abajo (UCS, 2013) y arriba (NASA, 2015)



Por otra parte en el 2013 el *Observatorio de Mauna Loa* en Hawaii que desde décadas atrás<sup>3</sup> ha venido haciendo un seguimiento detallado de las **concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmosfera**, reportó por primera vez en la historia que estas habían **sobrepasado las 400 partes por millón (ppm)**. En la Figura 1.2-13 se muestran las mediciones del 17 de Noviembre de 2015 ya sobre los 400 ppm.

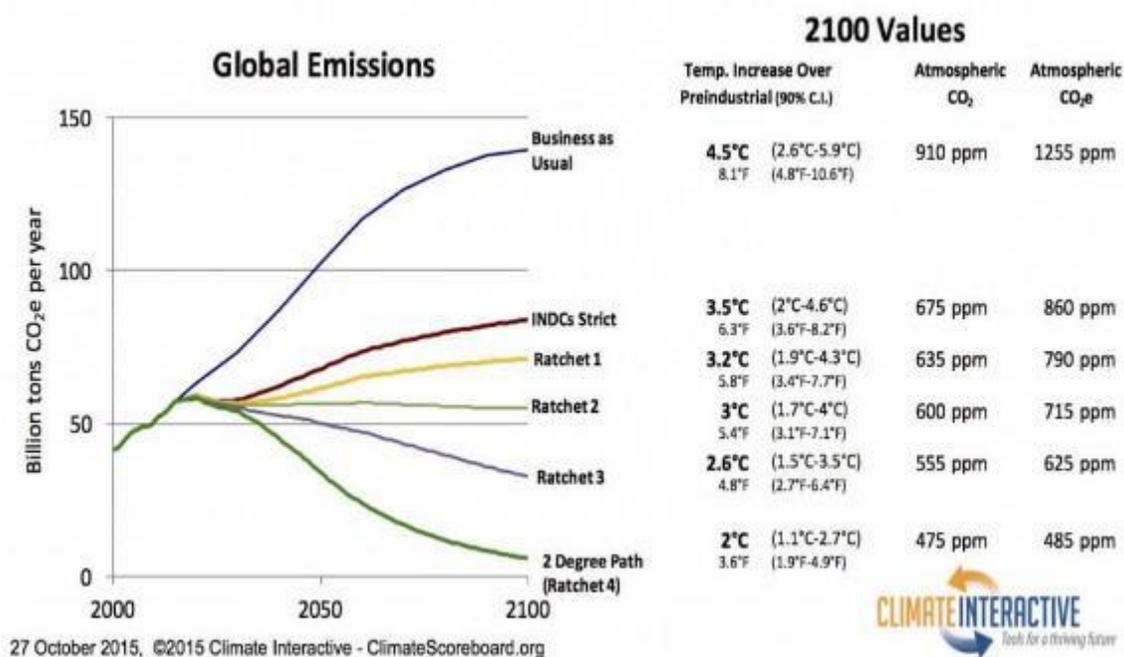
Figura 1.2-13. Curva de Keeling para el 17 Nov 2015 en <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>



<sup>3</sup> El centro de investigación fue liderado por el premio nobel Charles Keeling desde 1958.

Sin ningún acuerdo internacional vinculante **vigente** entre las naciones del mundo, y frente la destrucción de ecosistemas y desaparición de islas completas, las negociaciones de Diciembre 2015 en París dentro de la **COP21** son de gran importancia para el mundo en general. Para esta reunión los países presentaron sus **compromisos dentro de sus iNDCs**, en la Figura 1.2-14 se muestra como los esfuerzos individuales reunidos no son suficientes para alcanzar siquiera el “límite de 2°C” relacionado a 485ppm de CO<sup>2</sup>eq, aunque frente a las emisiones globales proyectadas por la trayectoria Usual de los Negocios existe una notable reducción de 4.5°C a 3.5°C (Sterman et al.,2015). El 71% de emisiones se concentran en 18 países<sup>4</sup> de los cuales solo Etiopia y Morroco presentan unos compromisos adecuados; mientras Rusia, Japón Canadá, Sur Corea, Sur África, Australia, Nueva Zelanda y Singapur presentan unas ambiciones inadecuadas, los restantes están en un ranquin Medio (Gütschow et al.,2015).

Figura 1.2-14. Emisiones Globales incluyendo los iNDCs en: <https://www.climateinteractive.org/tools/scoreboard/>

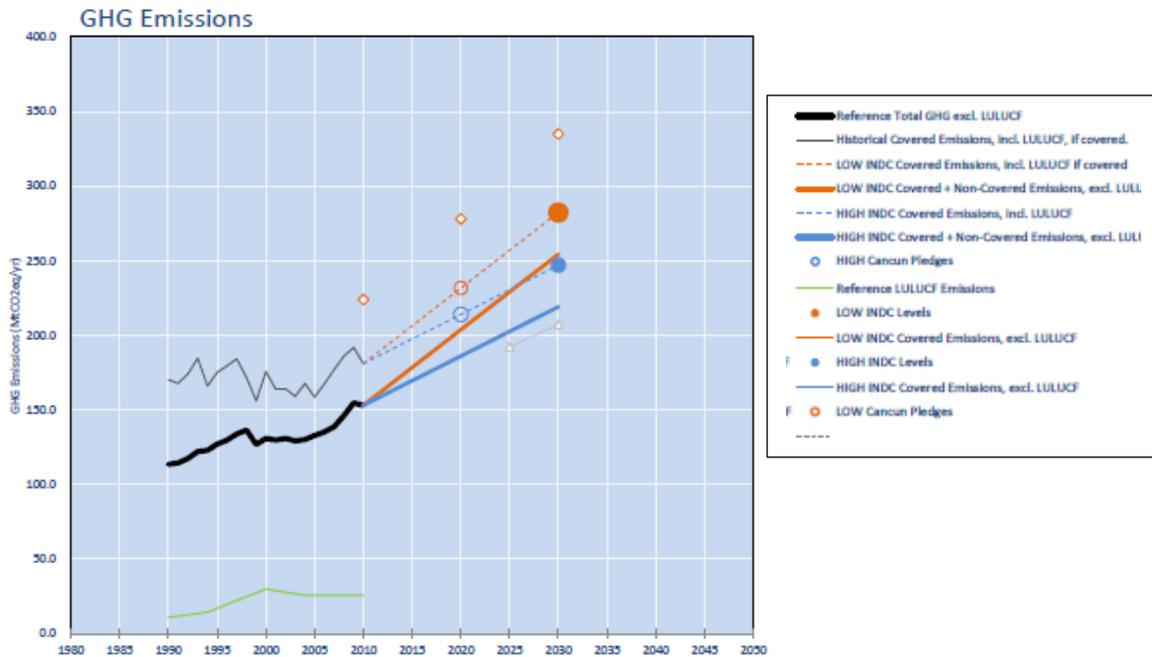


En Colombia bajo la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la UNFCC se han presentado resultados parciales en los nuevos escenarios de cambio climático a escala nacional y regional el cambio de temperatura para finales de siglo esperado es de 2,1°C, con departamentos que llegan a los 2,4°C. En el inventario nacional de gases efecto de invernadero se presenta un total de emisiones de 178,3 Mton CO<sup>2</sup>eq, donde el 44% (77,8Mton) hace parte del sector energético y 43% (76,3) del módulo AFOLU (Agricultura y

<sup>4</sup> Top 18 de Países según sus Emisiones: China, USA, EU, Rusia, Japón, Brasil, Indonesia, Canadá, México, Sur Corea, Sur África, Australia, Etiopia, Nueva Zelanda, Moroco, Suiza, Noruega y Singapur.

usos de la tierra). Por otro lado el MADS está liderado uno de los temas más importantes a nivel mundial el diseño de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para proyectos de adaptación y mitigación frente a los compromisos de reducir un 20% de las emisiones nacionales principalmente en deforestación del sector AFOLU y en transporte del sector Energía presentados en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (iNDC) de Colombia (Figura 1.2-15) para la COP21 en Paris.

Figura 1.2-15. iNDC de Colombia en <http://climatecollege.unimelb.edu.au/indc-factsheets>



Dentro de las iniciativas más interesantes encontradas en esta revisión las propone el proyecto de *Caminos a la Profunda Decarbonización*, bajo una exhaustiva revisión del sistema energético de cada país (15 los países fueron analizados en el piloto) identificando el consumo energético de cada uno de los sectores y con la participación y el dialogo de los diferentes actores y tomadores de decisiones se plantean (incluyendo alguna suposiciones de adelantos tecnológicos, etc) los caminos económicamente favorables para que se produzca una decarbonización de la economía generando cerca de 0 emisiones para final de siglo (Sachs et al.,2014).

## 1.2.2 RETROCESO DE LOS GLACIARES EN COLOMBIA COMO EVIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

(Autor: Jorge Luis Ceballos, Subdirección de Ecosistemas. IDEAM).



**Fuente: Glaciar Ritacuba Negro Finales década de los 50s siglo XIX Acuarela Comisión Corografica y Glaciar Ritacuba Negro año 2010 Jorge Luis Ceballos.**

Colombia cuenta con pequeñas masas de hielo que representan tan solo el 0,17% de los glaciares del subcontinente latinoamericano, con un área glaciaria aproximada de 45,3 km<sup>2</sup> (2010) calculada por el IDEAM con base en imágenes de satélite (Landsat, QuickBird, SPOT, ALOS y RapidEye), representada en seis glaciares clasificados como ecuatoriales: Volcanes nevados Ruiz<sup>5</sup> (9,7 Km<sup>2</sup>), Santa Isabel (1,8 Km<sup>2</sup>), Huila (9,7 Km<sup>2</sup>), Tolima (0,74 Km<sup>2</sup>) y dos sierras nevadas, El Cocuy o Gúicán (16,0 Km<sup>2</sup>) y Santa Marta (7,4 Km<sup>2</sup>). Cabe señalar que los glaciares Colombianos, los cuales, presentan áreas, espesor y volumen relativamente pequeños, son muy sensibles a los cambios de precipitación y temperatura, estando fuertemente influenciados por la dinámica climática mundial. Con base en datos de área glaciaria calculadas de las últimas tres décadas, es posible manifestar que para el año 2010, en Colombia, se había reducido el área glaciaria en un 51% con respecto a la de hace 30 años y con una tendencia actual de disminución del 3% por año.

---

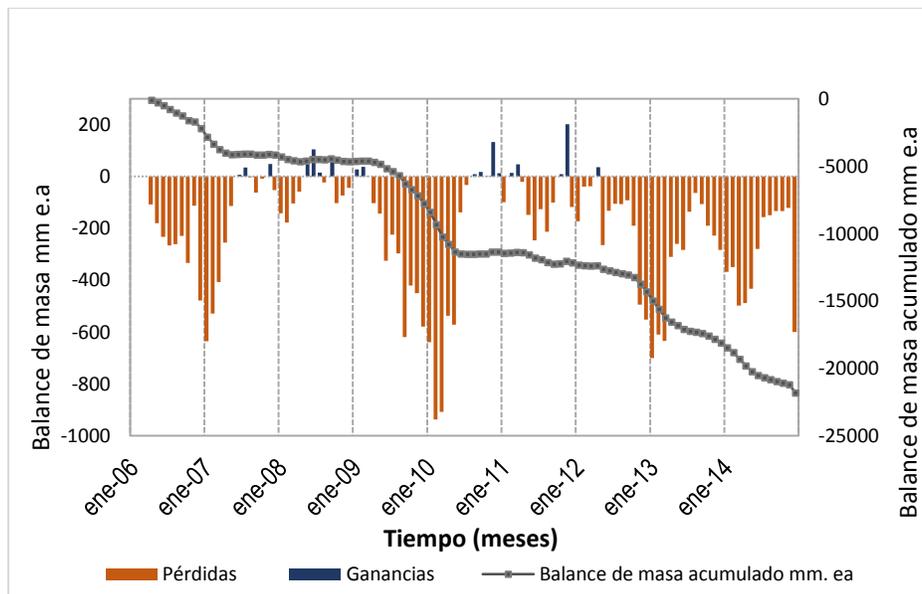
<sup>5</sup> Se realizaron actualizaciones al área glaciaria del volcán nevado del Ruiz para los años 2006 y 2010. Con esta actualización se encontraron algunas diferencias con respecto al área publicada en los informes anteriores. Cabe resaltar que estos cambios en el área están asociados a la resolución y calidad de las imágenes satelitales utilizadas, por ende los datos publicados en este informe son producto de dichas actualizaciones.

El IDEAM ha direccionado esfuerzos y recursos, desde el año 2006, para instrumentar dos cuencas glaciares, una en el volcán nevado Santa Isabel y la otra en la sierra nevada de El Cocuy, con el objeto de levantar información detallada que permita conocer el comportamiento de la dinámica glaciaria en Colombia. Para ello, se emplea en el cálculo del balance de masa glaciológico, la cual es una técnica utilizada mundialmente para estimar cuantitativamente las pérdidas o ganancias de masa de un glaciar durante un periodo de tiempo determinado, dicha técnica consiste en la toma directa de datos en campo sobre la superficie glaciaria para posteriormente calcular el balance de masa.

#### 1.2.2.1 GLACIAR CONEJERAS, VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL

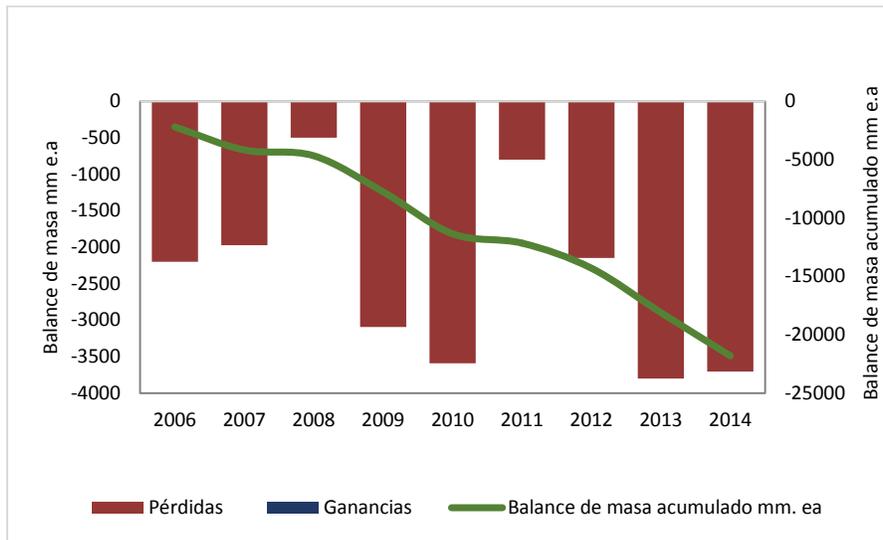
El balance de masa muestra para el periodo abril de 2006 a diciembre de 2014 unas pérdidas de **21.814 mm equivalente de agua (mm e.a)**. Para el periodo de 2012-2014 la pérdida fue de **-9.657 mm e.a** (2012: -2149 mm e.a.; 2013: -3802 mm. e. a.; 2014: -3706 mm. e. a. (Figura 1.2-16).

Figura 1.2-16: Balance de masa mensual glaciario Conejeras, Nevado de Santa Isabel (2006-2014)



Comparando este dato con los periodos anteriores se aprecia que el balance continúa intensificando las pérdidas de masa. En el año 2011 se presentó una menor pérdida por el impacto del fenómeno climático ENSO fase fría ("La Niña"), el balance de masa anual para el periodo total se ilustra en la Figura 1.2-17.

Figura 1.2-17: Balance de masa anual, glaciar Conejeras, Nevado de Santa Isabel (2006-2014)



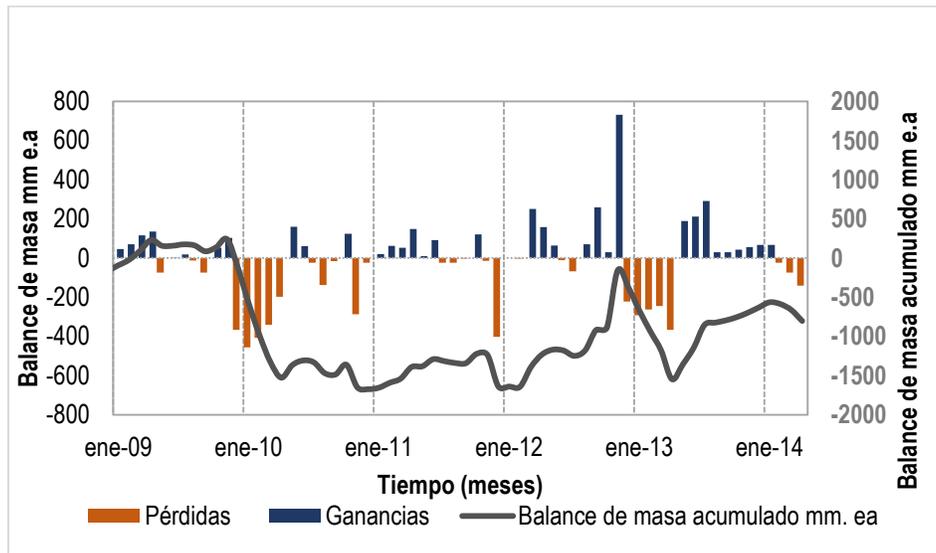
Una de las variables que se utiliza en el ámbito mundial para seguir y evaluar el comportamiento glaciar es la Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA, por sus siglas en inglés) que corresponde a la altitud en la que el balance de masa es cero. La ELA, según la tendencia actual, es que en el tiempo asciende. La masa de glaciar que se encuentre por debajo de la ELA tiende a extinguirse mientras que la masa que se encuentre por encima tiende a conservarse.

El ascenso de la ELA en metros de altitud ha sido así: en el 2011: 4812 metros de altitud, en el 2012: 4888, en el 2013: 4907 y en el 2014: 4926 metros de altitud. En promedio durante el periodo de observación (2006-2014) la ELA se encuentra a los 4872 metros de altitud.

#### 1.2.2.2 GLACIAR RITACUBA BLANCO, SIERRA NEVADA DE EL COCUY O GÛICÁN

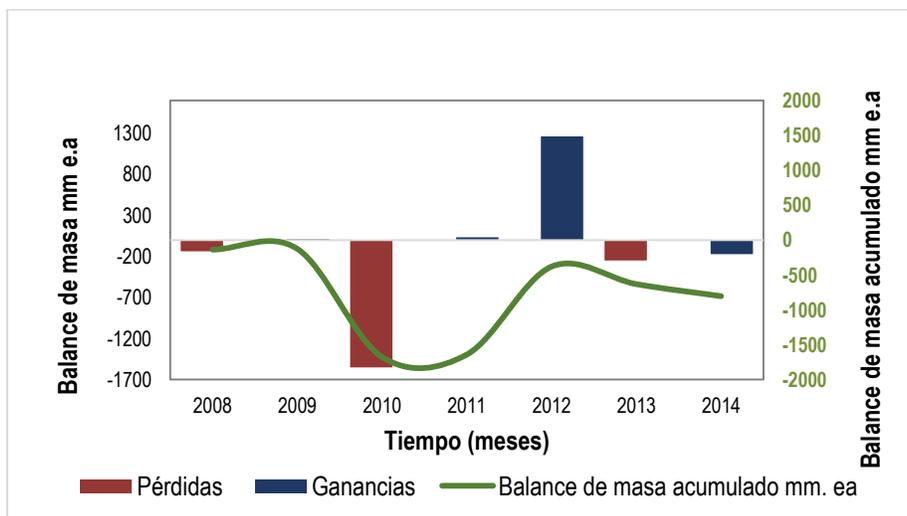
El balance de masa en el glaciar Ritacuba Blanco, se calcula bimestralmente. Cabe resaltar que el glaciar Ritacuba Blanco tiene el borde de hielo a 4860 m. de altitud y su altura máxima es de 5330 m, lo que lo hace un glaciar relativamente estable con respecto a los procesos de ablación. Para cuantificar el balance de masa en la sierra nevada de El Cocuy, el IDEAM emplea la misma metodología implementada en el de glaciar Conejeras y los resultados se muestran en Figura 1.2-18.

Figura 1.2-18: Balance de masa mensual glaciér Ritacuba Blanco, Sierra Nevada de El Cocuy o Güicán (2008-2014)



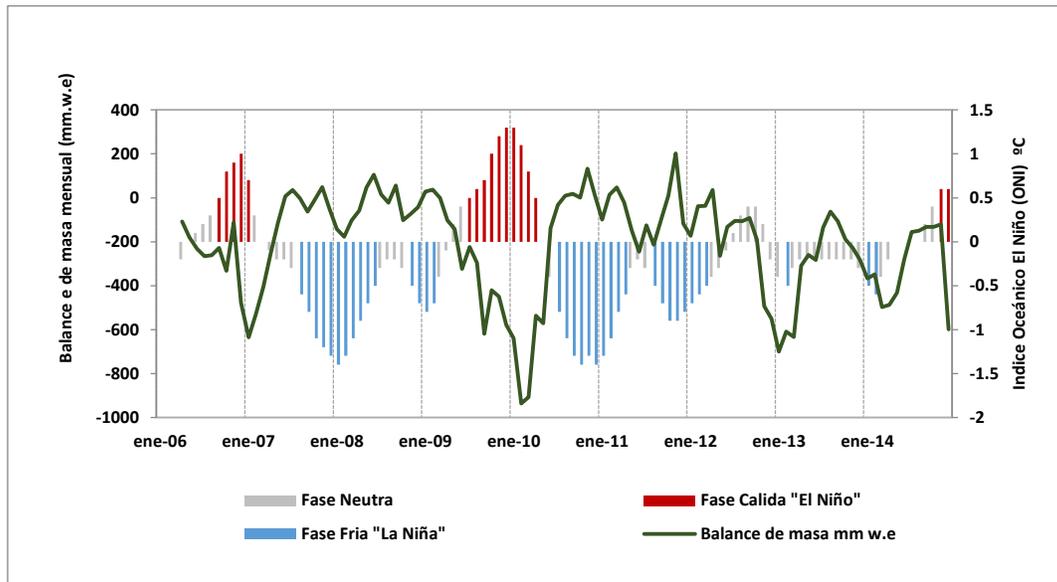
El balance de masa muestra que desde noviembre de 2008 (fecha de inicio del balance) a abril de 2014 el glaciar Ritacuba Blanco ha perdido **805 mm e.a.** Para el periodo **2012-2014** fue de **836 mm e. a.**, (2012:1260 mm e.a.; 2013: -251 mm e.a.; 2014 -hasta abril-: -173 mm e.a.) Comparando este dato con los dos años anteriores (2010= -1549 mm e.a. y 2011= 34 mm e.a.), se aprecia que el periodo de 2012 a 2014 fue positivo para el glaciar, dado que disminuyó su pérdida, presentando incluso un valor positivo, lo que indica que hubo ganancia en la masa de hielo. La dinámica de esta sierra nevada es muy particular, al parecer sería menos sensible a los eventos climáticos regionales extremos como el ENSO, lo cual se podría atribuir a su tamaño, altitud y a la influencia de la dinámica climática de la Orinoquia. El balance anual de este glaciar se muestra en la Figura 1.2-19.

Figura 1.2-19: Balance de masa anual glaciér Ritacuba Blanco, Sierra Nevada de El Cocuy (2008-2014)



Por el contrario, la figura 5 evidencia la relación que existe entre el fenómeno climático “El Niño” y la dinámica glaciár en el centro de la región Andina (glaciár Conejeras, volcán nevado Santa Isabel). Quizás la variabilidad climática es la que estaría afectando particularmente la alta montaña colombiana. (Figura 1.2-20).

Figura 1.2-20: Relación entre el balance de masa y ENSO ("El Niño" Southern Oscillation) 2006-2014



Fuente: (Zemp, 2015)



Fotografía: Volcán nevado Santa Isabel Sector sur año 2006 Jorge Luis Ceballos

---

### 1.2.3 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO BAJO ESTÁNDARES DEL QUINTO REPORTE AR5 DE IPCC (PROPUESTA ANALÍTICA SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO).

*(Autores: Franklyn Ruiz, Guillermo Armenta, Jennifer Dorado y Andrea Rodriguez de la Subdirección de Meteorología IDEAM)*



**Fotografía: Clouds (Héctor Pabón, Caqueta)**

Se presentan los escenarios de cambio climático de la precipitación y la temperatura media para Colombia, usando los nuevos escenarios de forzamiento radiativo RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 (o VCR2.6, VCR4.5, VCR6.0 y VCR8.5) de los modelos climáticos globales disponibles en la base de datos del proyecto Couple Model IntercompArison Project Versión 5 (CMIP5), usando el método de Ensamble Promedio de Fiabilidad Conjunta (“Reliability Ensemble Averaging” REA Method, por sus siglas en inglés) para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 tomando como periodo de referencia 1976-2005.

Los resultados dejan ver posibles aumentos en la temperatura media, para Colombia, en el periodo 2011-2040 de aproximadamente 1.0°C en los 4 RCP; en el periodo 2041-2070 de alrededor de 1.0-1.5°C en el RCP2.6 y 2.0-2.5°C en el RCP8.5; y para 2071-2100 cerca de 1.5°C en el RCP2.6 y de 3.5°C a 4.0°C en el RCP8.5. y en la precipitación, muestran para el periodo 2011-2100, que la región Caribe y la Amazonia presentarían una disminución del orden de 10-40%; para el centro y norte de la región Andina habría incrementos entre 10 y 30%, con los más altos aumentos en el eje Cafetero, el Altiplano Cundiboyacense y la

cuenca alta del río Cauca. En la Orinoquia y el resto del país los cambios en la precipitación no son significativos, ya que las alteraciones de esta variable son del orden de  $\pm 10\%$ .

Entender el comportamiento del clima, es actualmente uno de los principales retos para el ser humano. Por un lado, la ciencia es inequívoca al predecir que el mundo podrá llegar a tener dos grados más de temperatura para el 2100, esto en un escenario conservador, en el cual todos estemos actuando tanto para mitigar como para adaptarnos a las consecuencias del cambio climático. Esta cifra podrá aumentar, si no somos capaces como sociedad de disminuir las emisiones que aumentan los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por otro lado, existen variaciones climáticas cada día más fluctuantes, las cuales aún son difíciles de predecir con exactitud, por cuanto dependen de las interacciones de los elementos que hacen parte del sistema climático.

Para el planeta y por supuesto para Colombia, cada grado más de temperatura importa. Un grado más, al igual que a los humanos nos produce un estado febril, a la Tierra le produce un desajuste en el equilibrio de sus sistemas naturales. Los mismos sistemas que soportan la producción de agua y los flujos de aire, así como las sequías e inundaciones, alterando así su desarrollo económico.

Consiente de estos retos, Colombia forma parte de la Convención Marco de Naciones Unidas de Cambio Climático, que busca entender y llegar a consensos sobre los diversos factores que aceleran el cambio del clima. En este marco, el país ha acordado generar Comunicaciones Nacionales que sean referente nacional y la principal fuente de información sobre el posible comportamiento del cambio climático, así como de las acciones nacionales, regionales y locales, tanto públicas como privadas, que actualmente se adelantan para mitigar y adaptarse a sus efectos. Colombia ha generado dos Comunicaciones Nacionales en los años 2001 y 2010 respectivamente, y actualmente se encuentra construyendo su Tercera Comunicación.

Como base esencial para construir esta Tercera Comunicación, se ha entregado al país los resultados de los más recientes Escenarios de Cambio Climático para Colombia en los posibles comportamientos de las variables de temperatura y precipitación, los cuales toman como línea base el período 1976-2005 y se proyectan para el periodo 2011-2100. Estos Escenarios de Cambio Climático, se han generado con metodologías de la vanguardia climatológica mundial, congruentes con los últimos avances y resultados realizados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), de acuerdo a lo establecido en su Quinto Informe de Evaluación más conocido como AR5. Estos Escenarios además son el primer paso para continuar avanzando hacia un ejercicio de análisis de vulnerabilidad que nos permita aumentar nuestro nivel de comprensión y planeación ante los riesgos y la capacidad adaptativa, haciendo un especial énfasis en cada una de las regiones de Colombia. Los resultados de estos Escenarios nos indican la rapidez con que el cambio climático podría ocurrir, así como la variación espacio temporal en cada región del territorio. Es

importante resaltar que los resultados que se presentan deben ser interpretados de manera diferencial por cada región y por cada sector.

Hoy más que nunca, es necesario actuar con celeridad para entender la dinámica entre el Sol como motor del clima; el ciclo del agua, el cambio de usos del suelo y el aumento en las emisiones de gases efecto invernadero, hacen comprender que todo está interrelacionado y depende de la transformación y huella del hombre en el planeta. Igualmente, la sociedad debe empezar a actuar para lograr un Escenario Climático viable para garantizar nuestra supervivencia en el futuro.

La temperatura y la precipitación son dos variables que marcan las tendencias de cambio climático inducidas tanto por factores naturales como por los cambios que han generado las actividades humanas en el planeta. En Colombia, se viene haciendo un seguimiento riguroso a estas dos variables desde que se organizó en 1969 el Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología (SCHM) con el aval de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el cual reordenó y planificó el desarrollo de la red básica nacional de monitoreo.

De esta manera, se consolidó una red hidrometeorológica compuesta por diferentes tipos de estaciones que miden la precipitación, la temperatura, el viento, los niveles de los ríos, entre otras variables. Desde entonces y ajustándose a los cambios institucionales que transformaron el SCHM en el HIMAT y desde 1993 se transformó y se creó el IDEAM, se ha seguido midiendo constantemente las variables meteorológicas a través de sensores ubicados en este tipo de estaciones sobre todo el territorio nacional. En cada estación se cuenta con colombianos que miden cuánta agua cae cada día y el máximo y mínimo en las temperaturas. Estos datos, son un acervo de información y conocimiento con lo cual hoy podemos analizar el pasado para poder generar escenarios a futuro.

Gracias a la medición constante de estas variables así como de las metodologías meteorológicas más avanzadas a nivel mundial, hoy nos es posible generar los escenarios de temperatura y precipitación para Colombia con los lineamientos propuestos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC. En particular, el Instituto ha venido implementado en los últimos años modelos dinámicos y estadísticos reconocidos a nivel global, para la generación de clima a lo largo del siglo XXI, los que permiten suministrar posibles cambios de las variables meteorológicas con respecto al clima actual.

Los nuevos escenarios propuestos por IPCC estiman el forzamiento radiativo, en términos coloquiales, calculan la diferencia entre la radicación solar que entra a la Tierra menos la radiación que sale de ésta al espacio con el tiempo en la tropopausa; si el equilibrio fuese el ideal, esta diferencia debería ser cero; sin embargo, algo de esta radiación, que se mide en términos energéticos, la retiene la atmósfera por presencia de GEI y, entre mayor energía se quede en el planeta indica que podríamos estar bajo un escenario

pesimista porque nos estaría informando o, que hay mayores emisiones de GEI o, que la relación emisión-mitigación no es necesariamente la más eficiente.

A este tipo de escenarios, el IPCC los denominó «Caminos Representativos de Concentración» (RCP, por sus siglas en inglés); la palabra "representativo" significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos posibles escenarios que pueden conducir a las características de ese forzamiento radiativo. El término "camino" hace hincapié en que no sólo los niveles de concentración en el largo plazo son de interés, sino también la trayectoria que ha tomado en el tiempo para llegar a ese resultado. Los RCPs seleccionados por los expertos del IPCC fueron: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5; los cuales fueron concertados en los debates de una reunión de expertos del IPCC en septiembre de 2007. Los RCPs fueron elegidos para asignar una amplia gama de resultados climáticos, y cada RCP contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes. En este entregable de la Tercera Comunicación Nacional, se presentan los Escenarios de Cambio Climático para las variables de precipitación y temperatura media en Colombia, implementado con los actuales caminos representativos de concentración RCPs.

Para esto se utilizó la información histórica y generada a lo largo del siglo XXI de los cuatro RCP con base en 16 modelos globales disponibles en la base de datos CMIP5 (Couple Model Intercomparison Project Phase 5). En este estudio se ha usado como periodo histórico de referencia 1976-2005, y se ha estimado el posible cambio climático para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 a nivel anual.

Para obtener resultados a partir de dichos modelos globales en el contexto nacional y regional, se estudiaron diversos métodos de ensamble. Finalmente se trabajó con el método Ensamble Promedio de Fiabilidad Conjunta ("Reliability Ensemble Averaging" REA Method, por sus siglas en inglés), ya que este método permitió construir el ensamble a través de dos criterios, por un lado el desempeño de los modelos con respecto a la climatología de referencia y por otro lado un criterio de convergencia de los modelos hacia el futuro, dando un peso a cada modelo en el ensamble final en la generación de los cambios de las variables meteorológicas para los cuatro RCP. Con los datos obtenidos mediante el método de ensamble REA, finalmente se procedió a representarlos cartográficamente, aplicando metodologías de interpolación espacial con ayudas de coberturas como la topografía y el uso del suelo.

Para la generación de estos Escenarios de Cambio Climático a nivel nacional, se utilizó una metodología diferente a la empleada para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, en la cual, se hizo un ensamble multi-modelo multi-escenario, utilizando tres escenarios de emisiones (A2, B2 y A1B) para el periodo 2011-2100 usando el modelo regional de tipo dinámico PRECIS, tomando condiciones de frontera de dos modelos globales propuestos por CMIP3 para el período de referencia 1971-2010.

Así mismo, para la generación de Escenarios de Cambio Climático, el IPCC en su Cuarto Reporte (AR4 por sus siglas en inglés) usó un proceso secuencial, en la cual diferentes disciplinas aportaban secuencialmente la

información. Para esta Tercera Comunicación y dadas las actualizaciones dadas para el Quinto Reporte del IPCC (AR5 por sus siglas en inglés), los investigadores del cambio climático de las diversas disciplinas científicas han establecido un nuevo proceso en paralelo para el desarrollo de los escenarios de cambio climático.

Con estas innovaciones, el IDEAM está logrando generar una Tercera Comunicación en concordancia con los mejores conocimientos de clima del futuro, empezando por entregar los escenarios más probables para entender y proyectar el clima y por ende las precipitaciones futuras.

### ¿Por qué cada grado más de temperatura promedio importa?

Hablar de la temperatura media del planeta, no es hablar de la sensación térmica que podemos tener en una región, donde nos resultaría muy sencillo mantener nuestra calidad de vida y confort, soportando un cambio de 18°C a 20 o 22°C, algo que con sólo quitarse el saco o tomarse una bebida helada podríamos resolver.

Un cambio en la temperatura media del planeta implica un cambio profundo y severo en un sistema que ya venía trabajando calibrado de acuerdo a unas condiciones climáticas. Todo sistema (el cuerpo humano, un equipo electrónico, la Tierra) está hecho para funcionar correctamente bajo unos parámetros determinados de temperatura, de humedad, de esfuerzo, etc. Hablar de unos grados más en la temperatura media del planeta (1, 2, 4°C o más) significa entonces, pensar en un sistema que debe comenzar a funcionar bajo unas condiciones diferentes a las que normalmente está acostumbrado, con las consecuencias que esto pueda traer y debe entonces, comenzar a adaptarse a esas nuevas condiciones para mantener su calidad.

Este cambio ya se siente en el planeta pues en el último siglo ya llegamos a sumar 0.83 grados más de temperatura; por esto, desde hace algún tiempo hemos sido testigos de la manera como nuestros glaciares y nevados se empiezan a derretir, pero no proyectamos el futuro y su relación con el abastecimiento de agua. Creemos que la deforestación del Amazonas o del Chocó Biogeográfico nada tiene que ver con el clima de los Andes o el agua de Bogotá. Hay un desfase en los ciclos de floración y polinización de las plantas de cultivo. Empezamos a notar el ascenso en el nivel de los mares que afectarán las costas donde hay mucha población, pero continuamos construyendo a borde de playa. Presenciamos cambios en la ocurrencia, intensidad y frecuencia de precipitaciones, sequías, heladas y granizadas en áreas urbanas y rurales, y nos cuesta entenderlos en el marco del desarrollo desde una perspectiva de adaptación. Las proyecciones que nos muestran los escenarios nos marcan la ruta para planificar el futuro. Dos grados más de temperatura implica que el cultivo de café se desplace 400 metros hacia arriba con las variedades actuales, al igual que muchos cultivos que empezarían a ser no aptos para el clima del futuro si se siguen sembrando en las condiciones actuales. Implica que en ciudades ya calientes, se presenten olas de calor mayores que afecten

la salud de sus pobladores. Dos grados más de temperatura implica adaptarnos a nuevas circunstancias climáticas en donde la forma actual de hacer uso de la tierra, de producir y de vivir cambiaría para siempre.

El gran reto del Cambio Climático es que la sociedad entienda no sólo los cambios en la temperatura y precipitación sino a la vez su relación con las transformaciones que estamos generando en la Tierra. El reto por tanto es anticipar el cambio y ser capaces de proyectar un desarrollo compatible con el clima del futuro. La innovación y la planificación para el desarrollo compatible con el clima deben empezar desde ahora. Queremos pensar en una Colombia en la cual sigamos conservando nuestros ecosistemas asegurando sus servicios ecosistémicos, y en especial el agua suficiente para los colombianos del futuro. Una Colombia competitiva, con fuentes energéticas, sistemas agrícolas, ciudades y pueblos adaptados a nuevas circunstancias del clima futuro.

### ¿Por qué al aumentar la temperatura cambia el clima?

En el largo plazo, los GEI emitidos a la atmósfera por el hombre son la principal causa del cambio climático. Los GEI se refieren a un conjunto de sustancias químicas en estado gaseoso que son derivadas o liberadas producto de nuestras actividades industriales, de transporte, de producción agropecuaria, de la deforestación, de la disposición de residuos sólidos y líquidos, de la conversión de páramos y humedales a tierras de cultivos o por actividades de minería, las cuales se acumulan en la atmósfera y permanecen durante periodos que pueden ir de décadas hasta siglos, formando una capa gruesa que retiene más calor que el normal, ocasionando que la temperatura en el planeta aumente.

Sin embargo, este cambio diferencial de la temperatura influye en la distribución espacial de presión atmosférica del planeta. Las zonas templadas, especialmente del Hemisferio Norte, se están calentando más rápido en proporción con la región tropical generando un nuevo régimen de vientos en el planeta. Esto trae como consecuencia el cambio de trayectorias de las masas de aire, reubicando las zonas nubosas y por ende generando cambios en los regímenes de precipitación de diversas maneras. Por lo tanto, habrá regiones con muchas más lluvias y otras donde disminuirá. Toda esta fluctuación en temperatura planetaria se explica no sólo por las concentraciones de gases efecto invernadero sino además por los cambios en el uso del suelo.

La evidencia científica parece demostrar que por causa de los acelerados cambios en el clima del planeta que las actividades humanas han introducido, todos los ciclos ecológicos, hídricos y atmosféricos se están modificando. Entre estos últimos, se encuentra el evento ENOS (El Niño – Oscilación del Sur), el cual se expresa en la ocurrencia de los fenómenos de El Niño y La Niña. La alteración que se viene observando en la última década (2001-2010) es que estos fenómenos han aumentado su intensidad y frecuencia; no obstante, para el clima del futuro, el IPCC en su Quinto Reporte afirma que el comportamiento del ENOS simulado por diferentes modelos numéricos arroja resultados contradictorios: en algunos, hay una mayor probabilidad de

que su comportamiento sea similar al de las condiciones actuales, en tanto que otros encontraron un cambio significativo en la frecuencia, amplitud y los patrones espaciales de evento; por lo anterior, los investigadores aceptan que los modelos presentan aún una baja capacidad para representar debidamente la dinámica atmosférica derivada de la variabilidad de la temperatura superficial del mar.

---

#### *1.2.3.1 CLIMA DE REFERENCIA*

En climatología se utilizan los valores promedios para definir y comparar el clima. La norma climática o clima de referencia es una medida utilizada con este propósito y representa el valor promedio de una serie continua de observaciones de una variable climatológica, durante un periodo de por lo menos 30 años. Para la generación de los escenarios de cambio climático, el IPCC en su Quinto Informe, tomó como clima de referencia el periodo comprendido desde 1976 hasta 2005; dado que corresponde a un tiempo en que existe una robustez estadística en los datos asimilados en los modelos globales de clima. De igual forma es un acuerdo global para poder generar comparabilidades en lapsos de tiempo similares.

---

#### *1.2.3.2 RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO*

En términos generales, el estudio muestra que si las emisiones mundiales siguen en el mismo nivel de hoy, la temperatura promedio para Colombia será superior a 1.6°C en el 2100. Sin embargo, si los niveles de emisiones globales aumentan, la temperatura podría incrementar entre 2.1°C en un escenario de incremento moderado hasta 4°C en un escenario pesimista para 2100.

En nuestro país, se espera que el comportamiento de las precipitaciones no sea uniforme, registrándose aumentos en algunos sectores y reducción en otros. Esto implica que las medidas para hacer frente a posibles fenómenos extremos sean diferentes para cada región del territorio nacional. Por eso, estos Escenarios de Cambio Climático tienen varias interpretaciones: una a nivel general del país y otra para cada una de las regiones y departamentos del país. Estos Escenarios muestran información, pero no la interpretan. La interpretación la hacen sus diferentes usuarios y dependerá de sus objetivos de uso, el entender la complejidad que existe entre las transformaciones humanas y la interacción con los cambios naturales del planeta.

Estos escenarios nos indican que el país en su conjunto está afectado por el Cambio Climático, pero que hay énfasis regionales en donde vemos que la temperatura va a elevarse más. Esto se ve especialmente en la Costa Atlántica, el Pacífico y zonas de la Altiplanura y la Amazonia. A la vez, la Zona Andina y la Sierra Nevada de Santa Marta, con sus diferentes gradientes, presentan diversas elevaciones de temperatura que son realmente importantes al entender que es en estas regiones donde se produce el agua del país (Figura 1.2-21 a Figura 1.2-22)

Figura 1.2-21: Distribución espacial del cambio de la temperatura media del aire proyectado para el periodo 2011-2040 con respecto al periodo de referencia 1976-2005.

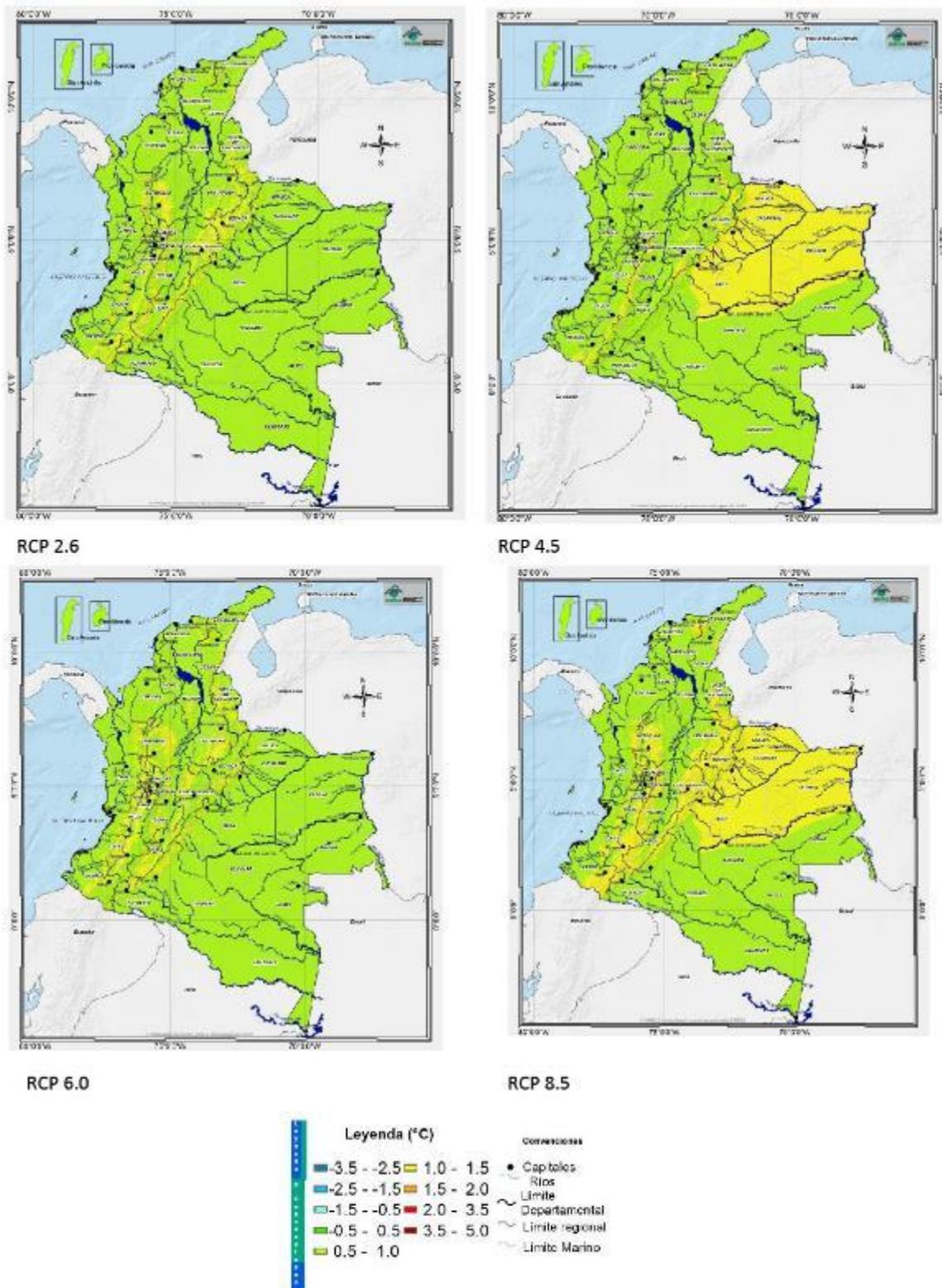
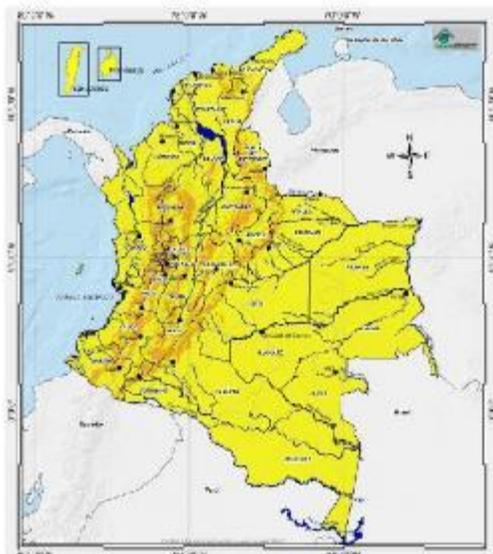
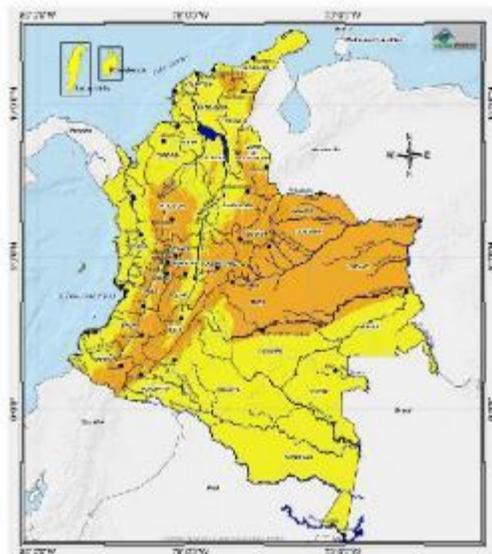


Figura 1.2-22. Distribución espacial del cambio de la temperatura media del aire proyectado para el periodo 2041-2070 con respecto al periodo de referencia 1976-2005.



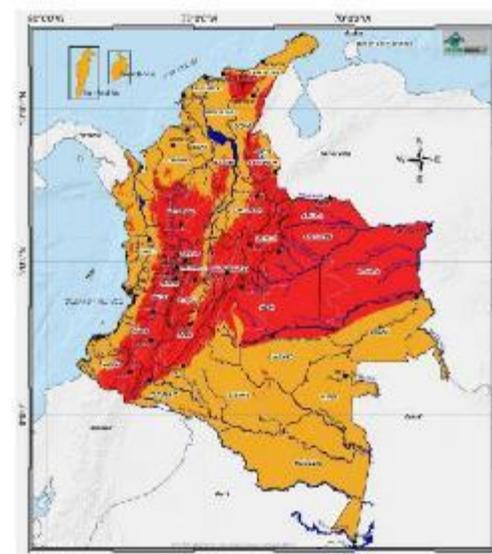
RCP 2.6



RCP 4.5



RCP 6.0



RCP 8.5

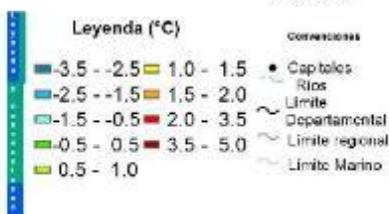
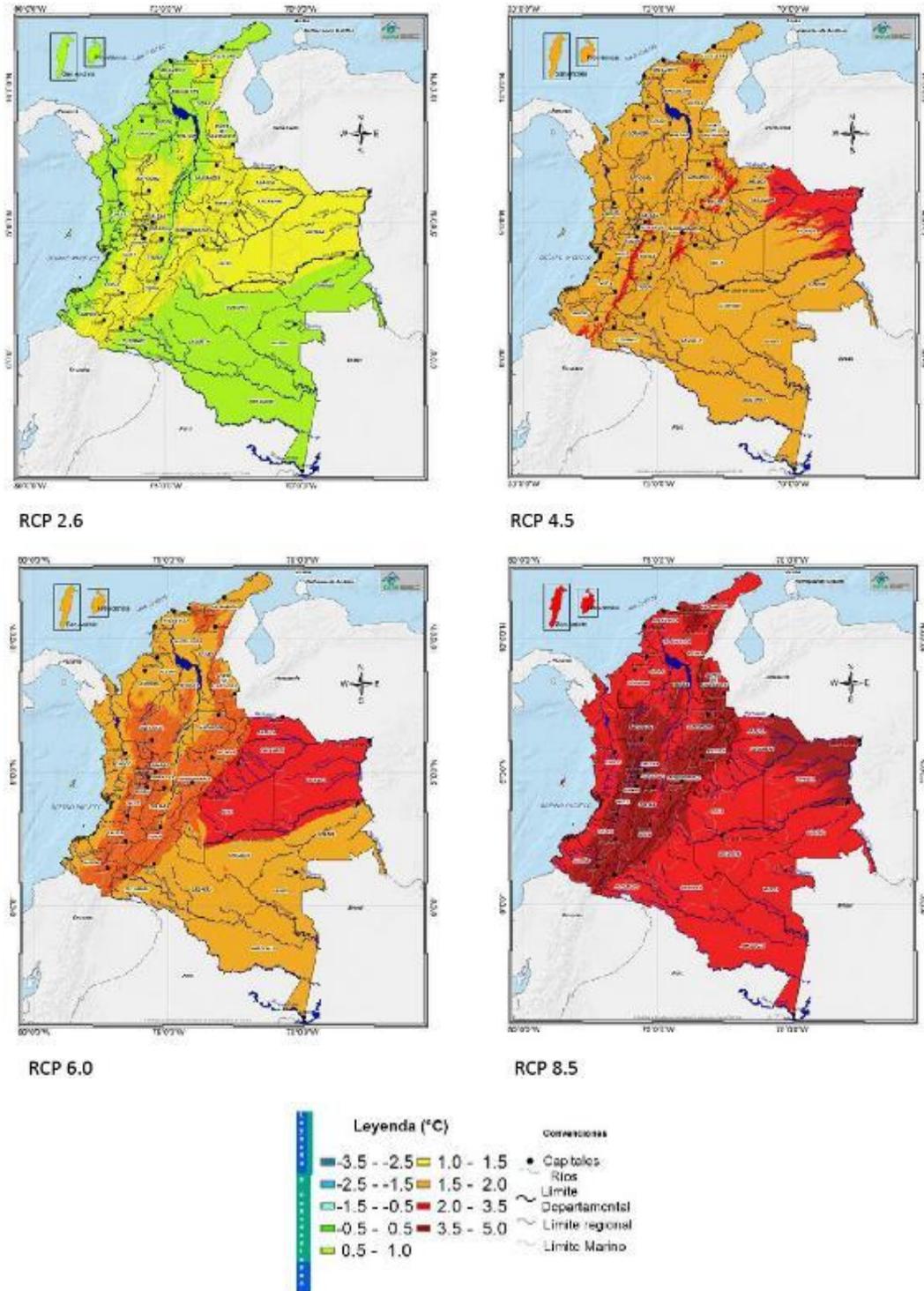


Figura 1.2-23. Distribución espacial del cambio de la temperatura media del aire proyectado para el periodo 2071-2100 con respecto al periodo de referencia 1976-2005.



Para el caso de la precipitación, la situación es variable y cambiante para cada departamento y región del país (Figura 1.2 24, Figura 1.2 25 y Figura 1.2 26). Hay regiones que presentarán una disminución en la precipitación y otras verán aumentadas sus lluvias. En términos generales, dado que el agua no es equitativa para todo el país y que las cuencas fluyen para un lado y otro, el mensaje que sale de estos escenarios es de precaución al ver el régimen de precipitación futuro, en donde si habrá disminución en algunas regiones del territorio y por ende cada día hay que pensar en proteger más las cuencas y el agua como recurso vital para el país. Tenemos que empezar a sembrar agua y pensar en la mejor manera de utilizarla de manera equitativa, para que no sea un factor mayor de conflicto en el futuro.

Figura 1.2-24. Cambio porcentual (%)de la precipitación proyectado en el periodo 2011-2040 frente al periodo 1976-2005 para Colombia según los RCP.

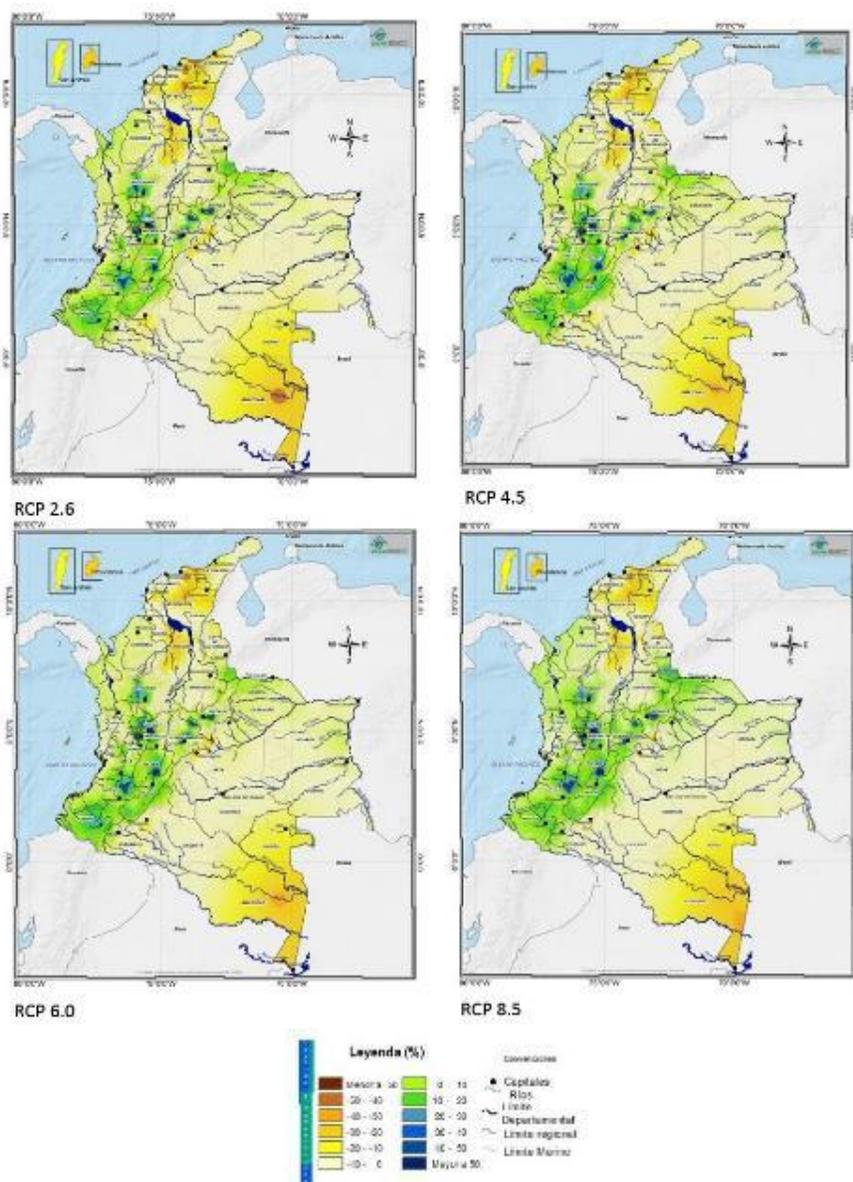


Figura 1.2-25. Cambio porcentual (%) de la precipitación proyectado en el periodo 2041-2070 frente al periodo 1976-2005 para Colombia según los RCP.

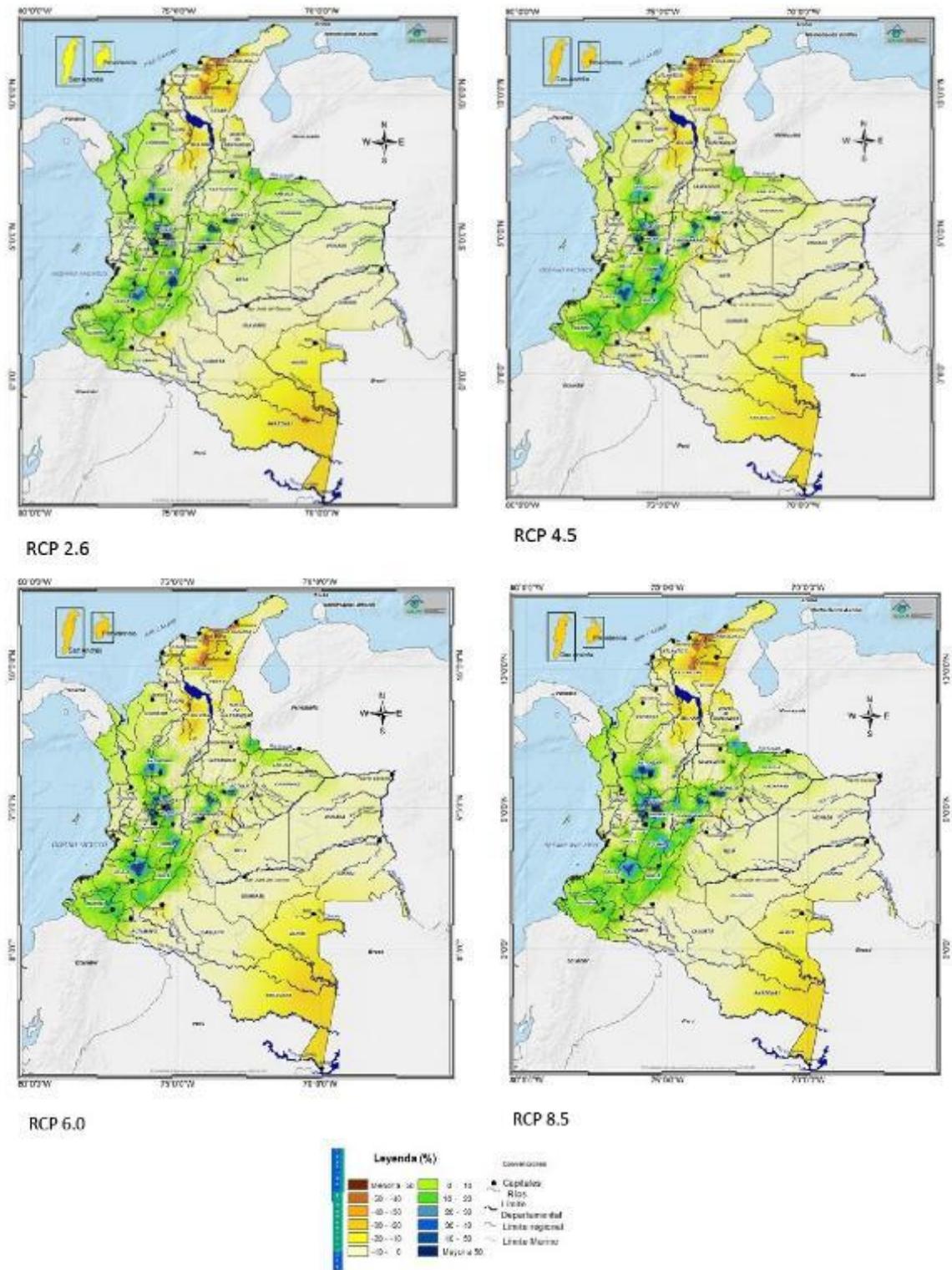
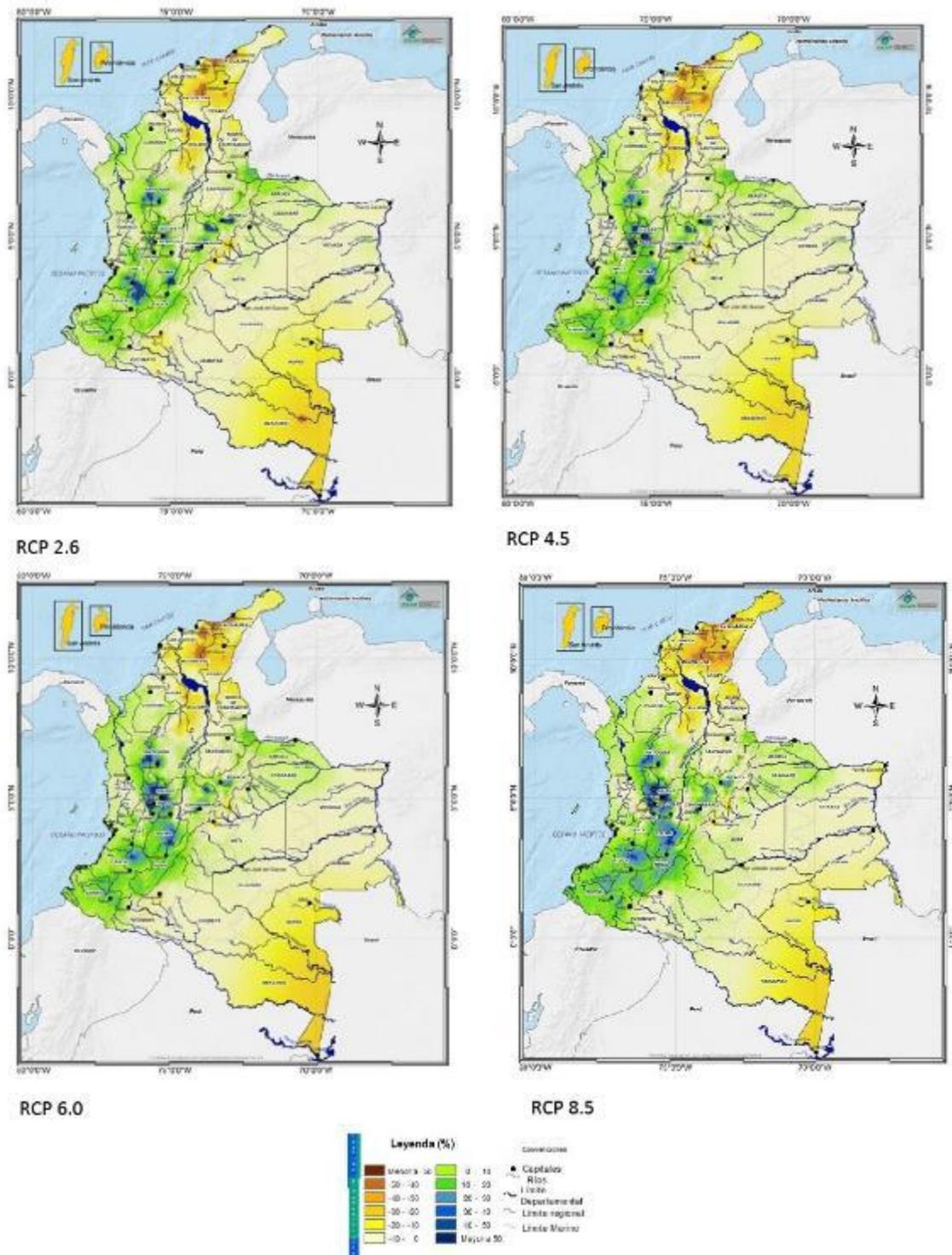


Figura 1.2-26. Cambio porcentual (%) de la precipitación proyectado en el periodo 2071-2100 frente al periodo 1976-2005 para Colombia según los RCP.



---

### 1.2.3.3 CONCLUSIONES

Según los resultados del ensamble multimodelo, se esperaría que la temperatura media para Colombia en el periodo 2011-2040 tenga un aumento de aproximadamente 1.0°C en los 4 RCP; en el periodo 2041-2070 un cambio de alrededor de 1.0-1.5°C en el RCP2.6 y 1.5-2.5°C en el RCP8.5. Para 2071-2100 habría un aumento de cerca de 1.0°C en el RCP2.6 y de 2.0°C a 4.0°C en el RCP8.5. Los mayores aumentos se presentarían en los departamentos de Arauca, Casanare, Cesar, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Santander, Sucre y Vichada. Los cambios más bajos se esperarían en Antioquia, el Distrito Capital, Cauca, Huila, Nariño y San Andrés y Providencia.

De acuerdo al ensamble multiescenario, los posibles valores promedio, máximo y mínimo del cambio de la temperatura en Colombia para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, mostrarían los aumentos más significativos en la región Andina, especialmente en las zonas de alta montaña, donde la temperatura aumentaría más rápido que en otros lugares del país. De igual manera se podría esperar en la Orinoquia y en la Sierra Nevada de Santa Marta.

En el caso de la temperatura máxima, se presentarían aumentos en el país de alrededor de 1.0-1.5°C para los cuatro escenarios en el periodo 2011-2040; incrementos de 1.0°C (RCP2.6) y 2.5°C (RCP8.5) en el 2041-2070; y de 1.0°C en el RCP2.6 y 4.0°C en el RCP8.5 para el último periodo del siglo. En general para los tres periodos se estimarían los aumentos más significativos se dieran en los departamentos de Arauca, Caldas, Cesar, Quindío y Santander; mientras que Bogotá, Cauca, Magdalena, Putumayo y San Andrés y Providencia presentarían los aumentos más bajos (Tabla 1.2-1).

La temperatura mínima en el primer periodo (2011-2040) mostraría incrementos cerca de 0.7°C en y 1.0°C en el RCP8; en el periodo 2041-2070 cambios de aproximadamente 0.5-1.0°C (RCP2.6) y 2.0°C (RCP8.5); y durante el periodo 2071-2100 cambios cerca de 1.0°C en el RCP2.6, y 3.5°C en el RCP8.5. De igual manera que para las otras temperaturas los mayores aumentos se presentarían en la región Andina, y los menores en la región Caribe.

Las anomalías más altas para las tres temperaturas (media, máxima y mínima) se presentarían en el escenario RCP8.5 y para el periodo 2071-2100. La temperatura mínima mostraría los menores incrementos, en comparación con las otras dos temperaturas, en todos los periodos y para los 4 RCP.

El comportamiento de la precipitación, según los escenarios de cambio climático RCP para Colombia, muestra que, para el periodo 2011-2100, la región Caribe y la Amazonia presentarían una disminución de la precipitación del orden de 10-40%. Para el centro y norte de la región Andina habría incrementos entre 10 y 30%, con los más altos aumentos en el eje Cafetero, el Altiplano Cundiboyacense y la cuenca alta del río

Cauca. La Orinoquia y el resto del país los cambios en la precipitación no son significativos, ya que las alteraciones de esta variable son del orden de  $\pm 10\%$ .

Tabla 1.2-1. Cambios en la temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ) con su incertidumbre ( $\pm^{\circ}\text{C}$ ) proyectados por el ensamble multiescenario para los departamentos de Colombia.

Departamento	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Amazonas	1,08	$\pm 0,02$	1,91	$\pm 0,02$	2,67	$\pm 0,01$
Antioquia	0,80	$\pm 0,12$	1,52	$\pm 0,24$	2,16	$\pm 0,34$
Arauca	1,27	$\pm 0,26$	2,38	$\pm 0,47$	3,33	$\pm 0,64$
Atlántico	0,89	$\pm 0,12$	1,58	$\pm 0,18$	2,25	$\pm 0,33$
Bolívar	0,93	$\pm 0,09$	1,72	$\pm 0,20$	2,43	$\pm 0,29$
Boyacá	0,70	$\pm 0,17$	1,27	$\pm 0,30$	1,80	$\pm 0,42$
Caldas	0,85	$\pm 0,23$	1,52	$\pm 0,41$	2,10	$\pm 0,56$
Caquetá	1,09	$\pm 0,03$	1,98	$\pm 0,06$	2,76	$\pm 0,09$
Casanare	1,09	$\pm 0,03$	1,96	$\pm 0,07$	2,79	$\pm 0,13$
Cauca	0,80	$\pm 0,18$	1,47	$\pm 0,31$	2,06	$\pm 0,42$
Cesar	0,96	$\pm 0,06$	1,85	$\pm 0,12$	2,61	$\pm 0,14$
Chocó	0,91	$\pm 0,07$	1,69	$\pm 0,13$	2,37	$\pm 0,17$
Córdoba	0,90	$\pm 0,02$	1,72	$\pm 0,05$	2,41	$\pm 0,07$
Cundinamarca	0,76	$\pm 0,24$	1,38	$\pm 0,44$	1,95	$\pm 0,62$
Guainía	1,06	$\pm 0,03$	1,87	$\pm 0,05$	2,59	$\pm 0,07$
Guaviare	1,05	$\pm 0,01$	1,87	$\pm 0,03$	2,64	$\pm 0,08$
Huila	0,99	$\pm 0,23$	1,82	$\pm 0,41$	2,56	$\pm 0,58$
La Guajira	0,90	$\pm 0,10$	1,69	$\pm 0,18$	2,34	$\pm 0,25$
Magdalena	0,88	$\pm 0,16$	1,63	$\pm 0,32$	2,29	$\pm 0,45$
Meta	1,09	$\pm 0,09$	1,96	$\pm 0,16$	2,80	$\pm 0,20$
Nariño	0,65	$\pm 0,15$	1,22	$\pm 0,29$	1,71	$\pm 0,40$
Norte de Santander	0,91	$\pm 0,19$	1,73	$\pm 0,38$	2,46	$\pm 0,53$
Putumayo	0,79	$\pm 0,19$	1,45	$\pm 0,34$	2,02	$\pm 0,45$
Quindío	0,96	$\pm 0,06$	1,74	$\pm 0,06$	2,41	$\pm 0,07$
Risaralda	0,87	$\pm 0,10$	1,57	$\pm 0,19$	2,18	$\pm 0,25$
San Andrés y Providencia	0,73	$\pm 0,01$	1,32	$\pm 0,01$	1,84	$\pm 0,01$
Santander	0,92	$\pm 0,27$	1,76	$\pm 0,51$	2,48	$\pm 0,73$
Sucre	0,93	$\pm 0,06$	1,74	$\pm 0,08$	2,43	$\pm 0,08$
Tolima	1,09	$\pm 0,23$	1,98	$\pm 0,41$	2,75	$\pm 0,56$
Valle del Cauca	0,90	$\pm 0,14$	1,63	$\pm 0,24$	2,28	$\pm 0,33$
Vaupés	1,04	$\pm 0,05$	1,89	$\pm 0,03$	2,65	$\pm 0,05$
Vichada	0,87	$\pm 0,34$	1,68	$\pm 0,41$	2,22	$\pm 0,92$

El ensamble multimodelo mostró buenos resultados con respecto a la proyección de la precipitación y temperatura según los RCP. El hecho de dar pesos a los modelos según su representación del clima presente y de su concordancia con el comportamiento de los demás modelos en el periodo futuro, hacen de este método de ensamble una muy buena herramienta para determinar el resultado final de los escenarios de cambio climático. Con este ensamble además se obtiene una reducción significativa de la incertidumbre de los posibles valores en el futuro, dándole rangos aceptables y coherentes con relación al cambio proyectado.

El cambio de la variación de la precipitación proyectada por los RCP con el ensamble multimodelo para el país no supera el  $\pm 5\%$ , en promedio, para los tres periodos futuros analizados (2011-2040 a 2041-2070 y de 2041-2070 a 2071-2100). Pero aunque este hecho desde la perspectiva general puede mostrarnos que para todo el periodo 2011-2100 la tendencia de la precipitación no es muy cambiante respecto al clima actual, si se presentarían cambios importantes en los volúmenes de precipitación en algunas áreas de la Región Andina, donde podrían haber incrementos considerables y, en la Amazonía y áreas de la Región Caribe, donde podrían haber algunas reducciones de las precipitaciones a lo largo del siglo XXI con respecto al clima de referencia. (Tabla 1.2-2).

Tabla 1.2-2. Cambios porcentuales en la precipitación (%) con su incertidumbre (%) proyectados por el ensamble multiescenario para los departamentos de Colombia.

Departamento	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Amazonas	-20,55	± 12,53	-18,47	± 11,18	-18,80	± 11,90
Antioquia	6,92	± 15,34	8,69	± 15,63	9,56	± 16,61
Arauca	1,44	± 0,24	2,72	± 1,85	4,21	± 4,42
Atlántico	-11,89	± 7,60	-12,77	± 5,84	-17,95	± 4,79
Bolívar	-17,48	± 8,12	-17,54	± 7,68	-18,99	± 8,08
Boyacá	9,04	± 17,17	8,02	± 19,22	6,32	± 18,68
Caldas	21,19	± 16,84	23,75	± 18,96	25,70	± 20,40
Caquetá	-13,34	± 7,19	-11,50	± 6,86	-10,85	± 7,80
Casanare	-1,69	± 8,67	-0,23	± 8,15	-0,67	± 8,97
Cauca	18,19	± 10,34	19,14	± 10,41	20,56	± 10,46
Cesar	-18,88	± 10,04	-20,60	± 10,56	-24,07	± 12,68
Chocó	5,09	± 6,42	7,83	± 8,09	7,77	± 9,32
Córdoba	1,69	± 2,47	1,63	± 3,23	-1,24	± 6,38
Cundinamarca	13,15	± 17,50	13,85	± 17,01	11,67	± 17,52
Guainía	-6,34	± 4,81	-8,17	± 2,47	-9,01	± 3,55
Guaviare	-6,14	± 1,48	-4,32	± 0,45	-2,37	± 0,18
Huila	21,73	± 19,18	21,62	± 15,85	23,67	± 16,33
La Guajira	-18,31	± 10,47	-20,64	± 11,13	-25,34	± 12,01
Magdalena	-22,92	± 13,65	-24,97	± 13,65	-28,72	± 13,67
Meta	-9,52	± 9,60	-7,65	± 9,05	-7,47	± 10,37
Nariño	18,99	± 6,57	18,58	± 5,71	18,80	± 6,29
Norte de Santander	1,36	± 9,98	-0,11	± 10,59	-2,18	± 10,69
Putumayo	8,29	± 9,87	9,07	± 8,94	9,49	± 11,22
Quindío	5,24	± 1,54	9,17	± 2,16	13,24	± 2,48
Risaralda	20,59	± 14,24	22,61	± 15,33	24,48	± 17,12
San Andrés y Providencia	-20,73	± 4,47	-23,21	± 0,91	-23,63	± 3,16
Santander	2,18	± 7,69	0,85	± 7,35	-1,44	± 6,60
Sucre	-14,20	± 11,17	-15,81	± 10,23	-19,38	± 8,26
Tolima	14,62	± 12,76	16,12	± 13,34	16,32	± 16,01
Valle del Cauca	7,39	± 12,81	6,10	± 14,84	6,56	± 16,03
Vaupés	-21,33	± 2,55	-21,14	± 3,10	-21,72	± 3,51
Vichada	-1,77	± 4,51	-2,30	± 4,77	-3,17	± 5,85

Además, se observa que, en términos de hectáreas (Tabla 1.2-3), en el 30% del territorio nacional se presentarían reducciones importantes de precipitación; en el 15% habría incrementos significativos, y en más de la mitad del país los cambios no son significativos (del orden del 10%).

Tabla 1.2-3. Cambios porcentuales promedio en la precipitación (%), clasificados en rangos y en áreas, proyectados por el ensamble multiescenario para Colombia.

Rango	2011-2040			2041-2070			2071-2100		
	Cambio Promedio de Porcentaje (%)	Área (Ha)	Área (Km <sup>2</sup> )	Cambio Promedio de Porcentaje (%)	Área (Ha)	Área (Km <sup>2</sup> )	Cambio Promedio de Porcentaje (%)	Área (Ha)	Área (Km <sup>2</sup> )
Menor a -40%	-45	187480	1875	-47	269182	2692	-45	435542	4355
Entre -40 a -30%	-34	3834559	38346	-34	1611619	16116	-34	2643062	26431
Entre -30 a -20	-25	12174905	121749	-24	12071838	120718	-25	12360140	123601
Entre -20 a -10	-14	19760102	197601	-15	19737480	197375	-14	18210345	182103
Entre -10 a 10%	0	63112863	631129	1	63257026	632570	0	63349987	633500
Entre 10 a 20%	15	10535486	105355	15	12235419	122354	15	11134747	111347
Entre 20 a 30%	24	3242421	32424	25	3327592	33276	24	4071123	40711
Entre 30 a 40%	35	932716	9327	35	1206550	12065	35	1343309	13433
Mayor a 40%	52	383368	3834	51	456343	4563	52	612276	6123

Los resultados presentados aquí son tendenciales del orden de las décadas de años y superiores en la escala del tiempo; por lo tanto, no ven claramente señales y/o fluctuaciones propias de variabilidad climática asociada especialmente a los fenómenos meteorológicos que ocurren con mayor frecuencia como El Niño y La Niña y otros de carácter océano-atmósfera; las cuales en el futuro continuarán modificando los nuevos promedios climatológicos del siglo XXI produciendo sequías y/o excesos de precipitación; alterando la tendencia de las variables meteorológicas en la escala de tiempo interanual; que temporalmente corresponde a escalas de mayor recurrencia que la analizada en las señales, evidencias y escenarios de cambio climático.

Los resultados obtenidos con los escenarios RCP muestran los cambios promedio para periodos climatológicos, tomando como referencia otro similar histórico. Por ejemplo, si un RCP no muestra diferencias significativas de precipitación en el periodo 2041-2070 con relación a 1976-2005, esto no quiere decir que se estén manteniendo las mismas tendencias y/o comportamientos de los eventos extremos y de variabilidad climática para el periodo futuro. En el análisis de la precipitación, los modelos no muestran la fluctuación de ésta debido a la variabilidad climática en clima presente, y por lo tanto no se debe esperar que lo hagan en los periodos futuros bajo ninguno de los RCP.

Los escenarios de cambio climático no deben ser tratados como únicos y estáticos. Así como los modelos climáticos globales mejoran día a día en la representación de la dinámica del sistema climático y en la

resolución espacial, los escenarios van mejorando, y van involucrando más elementos que permiten ir reduciendo las incertidumbres tanto a nivel regional como en la evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero, entre otros aspectos.

De la misma forma en la que se avanza en la investigación del cambio climático mejorando los modelos y los escenarios, se debe mejorar la capacidad investigativa del país frente a estos temas. Se deben potenciar al IDEAM, a la academia y a los centros de investigación para desarrollar más y mejores investigadores, investigaciones y productos climáticos que ayuden al crecimiento y fortalecimiento del país.

### 1.3 BIBLIOGRAFÍA

- Anandhi, A. A. (2011). Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment. . *Water Resources Research*. Vol. 47. W03501.
- Anthoff, D., Nicholls, R., Tol, R., & Vafeidis, A. (2006). Global and Regional Exposure to Large Rise in Sea-level: a Sensitivity Analysis. *Work Prepared for Stern Review on the Economics of Climate Change*, 31.
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(5), 237-276.
- Arrhenius, S. (1908). *WORLDS IN THE MAKING*. New York: Harper & Brothers. <https://vimeo.com/21817061>. Obtenido de Arrhenius, Svante (1908). *WORLDS IN THE MAKING*. New York: Harper & Brothers.
- Arrhenius, Svante. (1896). *On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground*. Obtenido de PHILOSOPHICAL MAGAZINE 41: 237-76.: [http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896\\_tcm18-173546.pdf](http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf)
- Barnett, J. (2015). Video Conference of the UNFCCC. *Course of Climate Change*. Melbourne, Australia.
- Benavides H. y Rocha C. (2012). Indicadores que manifiestan cambios en el sistema climático de Colombia. Nota Técnica. IDEAM.
- Benavides H., H. G. (2011). Evidencias de Cambio Climático en Colombia con base en información estadística. Nota Técnica. IDEAM. .
- Callendar, G. (1949). "*Can Carbon Dioxide Influence Climate?*". Obtenido de WEATHER 4: 310-14.: [http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Fj.1477-8696.1949.tb00952.x?r3\\_referer=wol&tracking\\_action=preview\\_click&show\\_checkout=1&purchase\\_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase\\_site\\_license=LICENSE\\_DENIED](http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Fj.1477-8696.1949.tb00952.x?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show_checkout=1&purchase_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase_site_license=LICENSE_DENIED)

- Callendar, G. (1958). "On the Amount of Carbon Dioxide in the Atmosphere." *TELLUS* 10: 243-48.  
Obtenido de *TELLUS* 10: 243-48.: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2153-3490.1958.tb02009.x/epdf>
- Callendar, G. (1961). "Temperature Fluctuations and Trends over the Earth.". Obtenido de *QUARTERLY J. ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY* 87: 1-12.: .  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49708737102/abstract>
- Change-IPCC, I. P. (2004). Introducción: El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra: OMM – PNUMA.
- Change-IPCC, I. P. (2013). *Intergovernmental Panel of Climate Change-IPCC, 2013. Data Distribution Centre -DDC-*. Obtenido de Definition of Terms Used Within the Pages DDC.:  
<http://www.ipcc-data.org/guidelines>
- Change-IPCC, I. P. (2013). Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. . *Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*". Cambridge y New York, Reino Unido y Estados Unidos de America: Contribución del Grupo de trabajo I Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds). .
- Church, J., & White, N. (2011). Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, 32(4), 585-602.
- Croll, J. (1886). *DISCUSSION ON CLIMATE AND COSMOLOGY*. Obtenido de New York: Appleton:  
<http://www.biodiversitylibrary.org/item/126503#page/6/mode/1up>
- Croll, J. (1886). *DISCUSSION ON CLIMATE AND COSMOLOGY*. London, England: Edward Stanford.
- Fleming, J. (1992). T. C. Chamberlin and H<sub>2</sub>O climate feedbacks: A voice from the past. *EOS Transactions American Geophysical Union*, 73(47), 505-509.
- Fleming, J. (1998). *Historical Perspective on Climate Change*. New York, United States of America: Oxford University Press.

- Fleming, J. (2006). James Croll in Context: The Encounter between Climate Dynamics and Geology in the Second Half of the Nineteenth Century. *History of Meteorology*, 43-53.
- Fleming, J. R. (1992). T. C. Chamberlin and H<sub>2</sub>O climate feedbacks: A voice from the past. *T. C. Chamberlin and H<sub>2</sub>O climate feedbacks: A voice from the past*. A voice from the past. <https://archive.org/details/worldsinmakingev00arrhrich>.
- Fleming, J. R. (2006). *Climate Controversies, Perspectives on Recent Climate Science and Policy*. Obtenido de <http://www.colby.edu/sts/controversy/pages/>
- Giorgi, F. a. (2001). Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the "Reliability Ensemble Averaging" (REA) Method. *American Meteorological Society* Vol. 15. 1141-1158.
- Giraldo, R. (2008). *Introducción a la Geoestadística*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Estadística: <http://www.reddeagriculturaprecision.unal.edu.co/doc/Publicaciones>
- GRID-Arendal. (2009). *Blue Carbon - A Rapid Response Assessment*. (C. Nellemann, E. Corcoran, M. Duarte, L. Valdés, C. Young, L. Fonseca, & G. Grimsditch, Edits.) United Nations Environment Programme.
- Gütschow, J., Jeffery, L., Alexander, R., Hare, B., Schaeffer, M., Rocha, M., . . . Blok, K. (2015). *INDCs Lower Projected Warming to 2.7°C: Significant Progress but still Above 2°C*. Climate Action Tracker Update.
- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. *PNAS*, 109(37), 2413-2423.
- Hawkings, E., & Jones, P. (2013). On increasing global temperatures: 75 years after Callendar. 00:1-4. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 00, 1-4.
- Hoyois, P., Below, R., Sheuren, J., & Guha-Spair, D. (2007). *Annual Disaster Statistical Review: Numbers and Trends 2006*. Centre for Research on Epidemiology of Disasters (CRED), Brussels, Belgium.

- IDEAM. (2001). *Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Bogotá D.C.: República de Colombia.
- IDEAM. (2005). Atlas Climatológico de Colombia.
- IDEAM. (2010). *Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. ( ). República de Colombia.
- IDEAM, P. M. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100. *Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental*. Tercera Comunicación de Cambio Climático. .
- INVEMAR. (2003). *Definición de la Vulnerabilidad de los Sistemas Bio-geofísicos y Socioeconómicos debido a un Cambio en el Nivel del mar en la zona costera colombiana y medidas para su adaptación*. Programa Holandés de Asistencia para Estudios de Cambio Climático, Santa Marta.
- INVEMAR, y. C. (2010). Proyecto "Análisis y aplicación de técnicas geoestadísticas en la modelación de procesos estocásticos relacionados con variables ecológicas en ambientes estuarinos". Bogotá 35 P.: 35 P.
- IPCC. (1990). *Climate Change - The IPCC Scientific Assessment* . (J. Houghton, J. Jenkins, & J. Ephraums, Edits.) New York, USA: Cambridge University Press.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. (J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, . . . C. Johnson, Edits.) New York, USA: Cambridge University Press.
- IPCC. (2012). *Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Socio-Economic Scenarios*. (O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, V. Barros, C. Field, T. Zwickel, . . . C. von Stechow , Edits.) Potsdam , Germany: IPCC Working Group III Technical Support Unit, Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. (T. Stocker, G. Qin, M. Plattner, S. Tignor, J. Allen, A. Boschung, . . . P. Midgley, Edits.) New York, USA,: Cambridge University Press.

- IS-ENES. (s.f.). *Exploring climate model data*. Recuperado el 07 de 12 de 2015, de Different socioeconomic scenarios of future world development: [https://climate4impact.eu/impactportal/help/faq.jsp?q=scenarios\\_different](https://climate4impact.eu/impactportal/help/faq.jsp?q=scenarios_different)
- Jianping, H., Haipeng, Y., Xiaodan, G., Guoyin, W., & Ruixia, G. (2015). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*.
- Knutti, R., & Sedláček, J. (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3, 369-373.
- Lambert, S. J. (2001). CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models. *Climate Dyn.*, 17, 83– 106.
- Latif, M., & Kennlyside, N. (2008). El Niño/Southern Oscillation response to global warming. *PNAS*, 106(49), 20578-20583.
- Lenton, T., Held, H., Kriegler, E., Hall, J., Lucht, W., Rahmstorf, S., & Schellnhuber, H. (2007). Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS*, 105(6), 1786-1793.
- NASA. (3 de December de 2015). *Global Climate Change - Vital Signs of the Planet*. Recuperado el 09 de Diciembre de 2015, de Facts - Sea Level: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>
- P., C. (s.f.). Zonificación climatológica según el Modelo Caldas-Lang de la Cuenca Río Negro mediante el uso del Sistema de Información Geográfica SIG.
- Revelle, R., & Suess, H. (1957). Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmosphere CO<sup>2</sup> during the Past Decades. *Institution of Oceanography, New Series*(900).
- Richard H. Moss, J. A. (2013). Cambio Climático: Bases Físicas Guía Resumida Grupo de Trabajo I del Quinto Informe del IPCC. Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología. Madrid: Centro Nacional de Educación Ambiental. Noviembre de 2013.
- Rockström, J. (24 de Junio de 2015). Changing the Business Logic Success in the Anthropocene. *Presentation*. Estocolmo, Suecia.

- Ruiz F., G. D. (2012). Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente. . Nota Técnica. IDEAM. .
- Sachs, J. (2015). History of Climate Change Science. *Course of Climate Change Science & Negotiations*. Columbia, Estados Unidos.
- Sachs, J., Tubiana, L., Guerin, E., Waisman, H., Mas, C., Colombier, M., & Schmidt-Traub, G. (2014). *The Deep Decarbonization Pathways Project Report*. Sustainable Development Solutions Network (SDSN) & Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI). SDSN & IDDRI.
- Smith, J., Schneider, S., Oppenheimer, M., Yohe, G., Hare, W., Mastrandrea, M., . . . van Ypersele, J. (2008). Assessing dangerous climate change through an update of the IPCC “reasons for Concern”. *PNAS*, *106*(11), 4133-4137.
- Stammer, D., Cazenave, A., Ponte, R., & Tamisiea, M. (2013). Causes for Contemporary Regional Sea Level Changes. *Annual Review of Marine Scienc*(5), 21-46.
- Sterman, J., Jones, A., Johnston, E., & Siegel, L. (2015). *Climate Interactive Ratchet Success Pathway: Assumptions and Results*. Climate Interactive, Washington DC.
- Taylor, K. E. (2012). *An Overview of CMIP5 and the Experiment Design*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, *93*, 485–498. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/>. Obtenido de *Amer. Meteor. Soc.*, *93*, 485–498. : doi: <http://dx.doi.org/10.1175/>
- Tebaldi, C. a. (2007). *The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections*. Obtenido de *Phil. Trans. R. Soc. A* (2007) 365, 2053–2075 : doi:10.1098/rsta.2007.207.
- UCS. (2013). *Causes of Sea Level Rise - What the Science Tells Us*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2015, de Union of Concerned Scientists - Science for a Healthy Planet and Safer World: [http://www.ucsusa.org/global\\_warming/science\\_and\\_impacts/impacts/causes-of-sea-level-rise.html#.VmrVvvp96Cp](http://www.ucsusa.org/global_warming/science_and_impacts/impacts/causes-of-sea-level-rise.html#.VmrVvvp96Cp)
- UNFCC. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto.
- United Nations. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations.

Weart, S. (2007). *The Discovery of Global Warming*. Obtenido de <https://www.aip.org/history/climate/index.htm>

Weart, S. (2007). *The Discovery of Global Warming*. Obtenido de <https://www.aip.org/history/climate/index.htm>

WGMS. (2012). *World Glacier Monitoring Service* . Obtenido de About the WGMS: <http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/about.html>

WMO. (s.f.). *World Meteorological Organization*. Recuperado el 09 de 12 de 2015, de Emission Scenarios: [https://www.wmo.int/pages/themes/climate/emission\\_scenarios.php](https://www.wmo.int/pages/themes/climate/emission_scenarios.php)

Zemp, M. e. (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. . *Journal of Glaciology*, Vol. 61, No. 228, 201.