

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Panorama del cambio climático en Colombia

MEDIO AMBIENTE
Y DESARROLLO



NACIONES UNIDAS



MINISTRY OF FOREIGN
AFFAIRS OF DENMARK



MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Panorama del cambio climático en Colombia



Este documento fue preparado por Javier Blanco, consultor de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y contó con la colaboración de Ana María Loboguerrero, Daniel Alejandro Ordoñez, Santiago Saavedra, Andrés Ricardo Morales, Mauricio Santos y Luisa Paola Salazar. El documento forma parte de los estudios sectoriales realizados en el marco de las actividades del proyecto CEPAL/Estudio regional de la economía del cambio climático (ERECC) en América Latina y el Caribe. El Estudio regional de la economía del cambio climático (ERECC) es coordinado en la CEPAL por Joseluis Samaniego, Carlos de Miguel, Luis Miguel Galindo y Karina Martínez Y contó con el apoyo y la colaboración financiera de diversas entidades, como los Gobiernos del Reino Unido, de España, de Dinamarca y de Alemania y la Unión Europea y el Banco Interamericano del Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1680-9017

LC/L.3585

Copyright © Naciones Unidas, marzo de 2013. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. El cambio climático en Colombia	15
A. El contexto global	15
B. Evidencia disponible a nivel regional	18
C. El cambio climático a nivel nacional.....	19
1. Clima	20
2. Recursos hídricos.....	20
3. Zonas costeras e insulares	21
4. Perfil ecosistémico	21
II. Escenarios macroeconómicos y demográficos del país	23
A. El contexto internacional y sus efectos sobre el país	23
B. El contexto nacional	24
C. Desarrollo económico y emisiones	25
D. Escenarios macroeconómicos	26
1. Población.....	27
2. Ingreso	29
III. La metodología del análisis económico del cambio climático ...	33
A. Aproximación metodológica para estimar los costos económicos del cambio climático en los sistemas socioeconómicos.....	33
B. Construcción del escenario tendencial o “ <i>Business as Usual</i> ”	36
C. La evaluación del impacto del cambio climático	38

D.	Aproximación metodológica para estimar los costos económicos del cambio climático en los ecosistemas.....	41
1.	Construcción de escenarios	42
2.	La valuación del impacto del cambio climático	43
IV.	Impactos económicos de la vulnerabilidad al cambio climático	45
A.	Impactos abordados por el Estudio Nacional	45
1.	Impactos agropecuarios.....	45
2.	Ecosistemas.....	49
B.	Impactos abordados por otros estudios.....	57
1.	Análisis Costo-Beneficio proyecto INAP.....	57
2.	Recursos costeros y aumento del nivel de mar	58
3.	Salud	58
4.	Costo de la vulnerabilidad energética	59
C.	Impacto agregado esperado.....	61
V.	Los procesos de adaptación en curso y medidas propuestas	63
A.	Proyecto integrado de adaptación nacional (INAP).....	63
B.	Programa conjunto de integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático en el Macizo Colombiano	64
1.	Propuestas de adaptación; descripción y estimación de sus costos	64
VI.	Procesos de mitigación del cambio climático	69
A.	Escenarios base de CO ₂ equivalente	69
1.	Proyección de emisiones con base en PIB.....	69
2.	Proyección de emisiones sectoriales	72
B.	Opciones y costos de los procesos de mitigación del cambio climático: curva de costos de abatimiento a precios de carbón o costos estándar.....	83
1.	Opciones de Mitigación en Sector de Energía.....	83
2.	Opciones de Mitigación en otros estudios para el Sector de Agropecuario y Transporte	85
VII.	Síntesis de la valuación del cambio climático en el país	87
A.	Análisis de los costos económicos de impactos.....	87
B.	Medidas de adaptación	88
C.	Mitigación del cambio climático	89
VIII.	Estrategias de cambio climático en el país	91
A.	El contexto internacional y la estrategia nacional.....	91
B.	Potenciales criterios para la identificación de metas de mitigación	93
C.	Recomendaciones para las estrategias de adaptación	94
IX.	Recomendaciones de política pública hacia una economía baja en carbono y desarrollo sostenible de largo plazo	97
	Bibliografía.....	99
	Serie Medio Ambiente y Desarrollo: números publicados	103
Índice de cuadros		
Cuadro 1	Ingreso per cápita en 2050 y 2100	30
Cuadro 2	Agregación sectorial del MEG4C.....	34
Cuadro 3	Variables exógenas para la calibración dinámica del MEG4C.....	37
Cuadro 4	Regresiones sectoriales utilizadas para el cálculo del cambio en los rendimientos.....	39

Cuadro 5	Valor de los Servicios Ambientales	43
Cuadro 6	Equivalente de Consumo Equilibrado para el choque de cambio climático	47
Cuadro 7	Pérdidas o ganancias por sector del impacto de cambio climático en el sector agropecuario.....	49
Cuadro 8	Ecosistemas estudiados con su respectivo porcentaje de cobertura del territorio nacional	50
Cuadro 9	Posibles cambios de temperatura para cada ecosistema según el Modelo de Circulación Global adaptado para Colombia en el escenario A2 y B2.....	51
Cuadro 10	Posibles cambios en la precipitación para cada ecosistema según el Modelo de Circulación Global adaptado para Colombia en el escenario A2 y B2.....	51
Cuadro 11	Casos de malaria y dengue en el país	58
Cuadro 12	Costo de la vulnerabilidad del sector eléctrico al cambio climático	61
Cuadro 13	Costo Anuales de Impactos del Cambio Climático en el año 2050 para Colombia	62
Cuadro 14	Costo Anual Equivalente de implementación de medidas de adaptación al ascenso del nivel del mar en áreas críticas.....	65
Cuadro 15	Asignación de fuentes de emisión a sectores del PIB.....	70
Cuadro 16	Coefficientes de emisión por PIB sectorial	71
Cuadro 17	Escenarios para reservas de combustibles fósiles.....	74
Cuadro 18	Tasas de crecimiento de la población y del PIB.....	75
Cuadro 19	Metas de crecimiento del Sector Agropecuario para el 2019	80
Cuadro 20	Opciones de mitigación evaluadas para el sector de Quema de Combustibles Fósiles en Colombia	83
Cuadro 21	Resumen de potencialidad y costos de los programas de reducción de emisiones en el sector agrícola	85
Cuadro 22	Potencialidad y costos de los programas de reducción de emisiones en el sector transporte	86
Cuadro 23	Propuesta de entidades responsables en la elaboración de los estudios del Plan Nacional de Adaptación.....	95

Índice de gráficos

Gráfico 1	Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte.....	16
Gráfico 2	Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero antropógenos	16
Gráfico 3	Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero entre 2000 y 2100 (en ausencia de políticas climáticas adicionales), y proyección de las temperaturas en superficie	17
Gráfico 4	Emisiones de CO ₂ y aumento de la temperatura en equilibrio para una serie de niveles de estabilización	18
Gráfico 5	Cambio de Temperatura Regional y Mundial.....	18
Gráfico 6	Impactos Esperados del Cambio Climático en América Latina	19
Gráfico 7	Relación entre el PIB y las Emisiones de Gases Efecto Invernadero en Colombia.....	26
Gráfico 8	Escenarios indexados	26
Gráfico 9	Proyecciones de Población para Colombia según los escenarios SRES de Cambio Climático	28
Gráfico 10	Pirámides poblacionales proyectadas para los diferentes escenarios SRES	29
Gráfico 11	PIB en los escenarios de cambio climático.....	31
Gráfico 12	PIB per cápita en los escenarios de cambio climático	31
Gráfico 13	Crecimiento del PIB potencial 2005 – 2100 en el escenario tendencial.....	37
Gráfico 14	Población y Población en edad de trabajar hasta el año 2100.....	38
Gráfico 15	Cambios porcentuales en los rendimientos de los sectores debido al cambio climático	40

Gráfico 16	Impacto del cambio climático en el sector agropecuario	46
Gráfico 17	Impacto del cambio climático en el sector agropecuario en el crecimiento del PIB Nacional	46
Gráfico 18	Cambio porcentual entre el escenario tendencial y el choque de cambio climático para el consumo per cápita	47
Gráfico 19	Impacto económico del cambio climático en la producción agropecuaria como porcentaje en el PIB de cada sub-sector	48
Gráfico 20	Distribución actual de los cinco ecosistemas estudiados	50
Gráfico 21	Cambio en el área de cobertura de cada ecosistema para cada escenario (A2 y B2).....	52
Gráfico 22	Cambio porcentual en coberturas de ecosistemas por el cambio climático	53
Gráfico 23	Porcentaje de variación en la calidad de los ecosistemas para los escenarios A2 y B2 en los años 2050 y 2080	54
Gráfico 24	Valoración económica de los cinco ecosistemas estudiados bajo los escenarios tendenciales y con cambio climático (A2 y B2)	55
Gráfico 25	Variación del valor del capital natural de los ecosistemas con relación al PIB, bajo escenarios de cambio climático	56
Gráfico 26	Atención de la demanda eléctrica ante fenómenos niño.....	60
Gráfico 27	Comportamiento del precio promedio de oferta de la energía eléctrica en la bolsa.....	60
Gráfico 28	Relación entre las Emisiones de Gases Efecto Invernadero y el PIB Nacional.....	70
Gráfico 29	Proyección tendencial de emisiones de gases efecto invernadero para Colombia (2005-2050)	72
Gráfico 30	Producción y Oferta Interna de Energía para 2000 y 2005 por fuente.....	76
Gráfico 31	Consumo final de energía por fuentes y sectores para el 2000 y 2005	76
Gráfico 32	Proyección de la oferta interna de energía por fuente y generación de energía para el periodo 2000 - 2040.....	77
Gráfico 33	Demanda de energía proyectada por sectores para el periodo 2000 - 2040.....	77
Gráfico 34	Proyección de emisiones del sector de energía – quema de combustibles fósiles	78
Gráfico 35	Proyección de emisiones del sector de energía bajo distintos escenarios de línea base.....	79
Gráfico 36	Proyección de emisiones UPME.....	79
Gráfico 37	Comparación de distintas aproximaciones de la proyección de emisiones en Colombia, Sector Quema Combustibles Fósiles	80
Gráfico 38	Emisiones de línea base para el sector agropecuario en Colombia	81
Gráfico 39	Emisiones de línea base por fuente en el sector agropecuario	81
Gráfico 40	Escenario base de emisiones nacionales de Gases Efecto Invernadero (2005-2019) con distintas aproximaciones	82
Gráfico 41	Curva de costos marginales de reducción en el sector de energía.....	84
Gráfico 42	Participación de los distintos sectores en las emisiones nacionales de Gases Efecto Invernadero para el 2004.....	93

Resumen

El Departamento Nacional de Planeación (DNP) con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) inició a principio del año 2009 la elaboración de un Estudio Nacional para la estimación de los costos económicos del cambio climático en Colombia. El estudio desarrolló directamente la estimación de los costos relacionados con los impactos del cambio climático en la economía colombiana por efectos en la agricultura y los ecosistemas y los costos de mitigación de las emisiones de los gases efecto invernadero en el sector energético. Asimismo, el Estudio recopiló la información disponible sobre impactos y costos del cambio climático adelantado por diferentes instituciones y proyectos nacionales a la fecha, para obtener un panorama completo sobre los demás impactos y sectores de la economía. Aunque se tiene previsto que el Estudio sea de largo plazo este documento presenta sus primeros resultados hasta el primer semestre de 2010.

Introducción

Colombia ha avanzado en el análisis de los impactos de cambio climático principalmente por las investigaciones adelantadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andreis” (INVEMAR). De acuerdo con la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IDEAM, 2010), basado en la simulación de diversos escenarios climáticos¹, se concluye que la temperatura promedio del aire en Colombia aumentará: 1,4°C para los años 2011 a 2040; 2,4°C para 2041 a 2070 y 3,2°C para el periodo 2071 a 2100. Los aumentos más significativos se ubicarían en los departamentos de Norte de Santander, Risaralda, Huila, Sucre y Tolima.

Las estimaciones de los cambios probables en la precipitación anual establecen que las reducciones más significativas de lluvia se darían especialmente en gran parte de los departamentos de la región Caribe, ellos serían: Sucre (-36,3%), Córdoba (-35,5%), Bolívar (-34,0%), Magdalena (-24,6%) y Atlántico (-22,3%). En la región Andina, los departamentos de Caldas (-21,9%) y Cauca (-20,4%) tendrían igualmente importantes reducciones en los volúmenes de precipitación media anual, al igual que en la Sabana de Bogotá que se espera reducciones de precipitación del orden de 11% para el periodo 2011- 2040. Por otra parte, en los departamentos de Vaupés, Chocó, Guanía, Amazonas, Vichada y San Andrés se espera incrementos en las precipitaciones.

¹ El IDEAM realiza simulaciones basado en el modelo de circulación regional PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*) bajo escenario de gases efecto invernadero con los escenarios del IPCC (SRES A2 y el SRES B2) para generar predicciones sobre cambios en patrones de precipitación y temperatura para los periodos 2011 a 2040, 2070 y 2100.

Con base en el escenario de precipitación y temperatura (2071 a 2100) y la estimación indirecta (balance hídrico) a partir de los resultados del modelo PRECIS, la Segunda Comunicación Nacional concluye que se tendrían reducciones alrededor del 30% de la escurrimiento promedio en las cuencas del alto y Bajo Magdalena, Cauca, parte del Litoral Caribe, Saldaña, Cesar y Bogotá, que abarcan parte de los departamentos del Magdalena, Cesar, Atlántico, Bolívar, Córdoba, Sucre, Huila, Tolima y Cundinamarca.

Los efectos del cambio climático sobre la zona costera podrían ocasionar intrusión de la cuña salina que generaría un probable desplazamiento hacia tierra de las fronteras internas de las áreas ocupadas por los manglares, limitado por el relieve costero y los asentamientos humanos. De acuerdo con IDEAM (2001), se podrían afectar con ascenso del nivel freático y cuña salina, 132,9 km² en el Litoral Pacífico y 2.041,3 km² en el Caribe.

Bajo un escenario de un metro de aumento del nivel del mar se estima que alrededor de 4.900 km² de los Litorales Caribe y Pacífico quedarían inundados permanentemente y además, 5.100 km² se verían anegados (INVEMAR, 2003). Bajo este escenario se estima que alrededor de 1,4 a 1,7 millones de habitantes se verían afectados principalmente en la costa Caribe (IDEAM, 2010).

Utilizando datos de la Red de Información y Comunicaciones del Sector Agropecuario, el presente estudio estimó el impacto del cambio climático en cuatro subsectores: agricultura (maíz, arroz, palma de aceite, caña de azúcar y banano), pesca, ganadería (producción bovina de carne y leche) y silvicultura. Los modelos indican que los subsectores agrícola, ganadero, pesca y silvícola pierden en promedio 23,74%, 16,88%, 15,81% y 4,64% respectivamente con respecto a su producción en el escenario tendencial.

El costo del impacto del cambio climático para el sector agropecuario fue valorado mediante la construcción de un modelo de equilibrio general que permite simular los flujos de ingresos y gastos de una economía considerando las diferentes interrelaciones entre los sectores. Para la simulación del escenario tendencial, el modelo utilizó tasas exógenas de crecimiento de la población, fuerza de trabajo y productividades del capital y del trabajo. El ejercicio arroja como resultado en el escenario tendencial un crecimiento promedio del PIB alrededor de 2,3% para el período de análisis 2000-2100 y un aumento poblacional hasta alcanzar 75.000.000 de personas para el 2100 frente a 45.000.000 en la actualidad. El impacto del cambio climático en los subsectores agropecuarios produce una diferencia porcentual del PIB potencial en promedio de 2,61% inferior durante el período de simulación. Lo anterior implica una disminución promedio de 0,057 puntos porcentuales del crecimiento del PIB. En términos de consumo per cápita (Cpc) los resultados son más pronunciados. En promedio hay una pérdida de 4,88% del Cpc anualmente, ahora bien, esta pérdida llega a ser del 8,69% al final del periodo de análisis.

En el sector de alimentos manufacturados, el cambio climático genera una reducción del 16,15% de la producción con respecto al escenario tendencial. Asimismo, se observa un aumento en la producción del sector minero debido a la disminución en rentabilidad de los sectores primarios y en consecuencia una mayor inversión minera respecto al escenario tendencial.

Para estimar el impacto del cambio climático en los ecosistemas naturales, el estudio usó el concepto de Nicho Ecológico (MNE) y generó modelos de la distribución potencial de algunos de los ecosistemas más representativos del país (bosque andino, bosque húmedo, bosque seco, páramo y sabanas). De acuerdo con este modelo, para un escenario pesimista de cambio climático del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Escenario A2), los ecosistemas de sabanas y páramos serían los más impactados reduciendo su cobertura en 70% y 60% respectivamente para el año 2050. Por otra parte, los bosques andinos y los bosques secos también reducirían su cobertura en 40% y 20% respectivamente, mientras que los bosques húmedos podrían aumentar su cobertura hasta en un 50% con respecto al escenario base para el año 2050. Para el 2080 la reducción se mantiene para los páramos y sabanas, mientras que para el bosque seco podría recuperar cobertura hasta alcanzar un incremento de 40% frente al escenario base.

La valoración de los impactos del cambio climático en los ecosistemas de bosques, sabanas y páramos, se realizó mediante la valoración de cada ecosistema en función del valor de los servicios ambientales que provee en función de su área y calidad. Los valores de los servicios ambientales fueron tomados de

Constanza y otros (1997) quienes valoraron los 17 principales servicios ambientales proveídos por 16 biomas a nivel mundial. Dentro de los servicios ambientales analizados en este estudio se encuentran: Regulación de gases, Regulación del clima, Regulación de disturbios, Formación de suelos, Ciclado de nutrientes, Oferta hídrica, Regulación hídrica, Control de la erosión y Recreación. La cobertura fue obtenida mediante el modelo de nicho ecológico y la calidad de cada ecosistema fue calculada como una función que depende de los parámetros de la productividad primaria neta (PPN) y el porcentaje de cobertura vegetal.

En relación con el impacto económico del cambio climático en los ecosistemas estudiados, apreciamos que el ecosistema de páramo es el que presenta la mayor reducción en su valor de capital natural seguido por los bosques andinos y las sabanas. Las pérdidas económicas anuales para el 2080 de los servicios ambientales provistos por los páramos, bosques andinos y sabanas se estimaron aproximadamente en 160 millones de dólares, 100 millones de dólares y 10 millones de dólares respectivamente. Las diferencias en costos con respecto a la reducción de área se explican por los mayores servicios ambientales provistos por los páramos en relación con el agua en contraste con los provistos por las sabanas.

Con respecto al Bosque Húmedo se observa que el valor de este ecosistema aumenta considerablemente obteniendo valores por encima de los 300 millones de dólares/año que representa el 0,12% del PIB para Colombia en el 2006.

Otros estudios estiman que el valor de los impactos estimados por daños a las viviendas en Cartagena y Tumaco por ascenso del nivel del mar es de 817,5 millones de dólares o el 0,15% del PIB en el 2050. Una primera aproximación de Blanco y Hernández (2009) estima que los costos anuales del aumento en la incidencia de malaria y dengue ascienden a 2,36 millones de dólares (sin considerar mortalidad); mientras que basado en los aumentos de costos de la energía en años de Fenómeno del Niño severos (Blanco, 2008), estima que el costo anual de la vulnerabilidad del sector eléctrico alcanzaría 3.586 millones de dólares.

De forma agregada, los anteriores impactos del cambio climático, asumiendo que no se implementan medidas de adaptación, ascienden a 1,7% del PIB del 2050 o el 5,4% del PIB de 2007. Se concluye que aunque Colombia ha avanzado en la cuantificación de los impactos, todavía no cuenta con una estimación completa sobre el costo para la economía que podría traer el cambio climático global en los sistemas naturales y socioeconómicos. Sin embargo, los resultados parciales a la fecha indican que éstos podrían estar en el orden de un dígito porcentual del PIB en el 2050.

Colombia ha avanzado en el diseño e implementación piloto de medidas de adaptación al Cambio Climático, en especial con los proyectos financiados a través del Fondo Global Ambiental (GEF).

Medidas de adaptación ante el ascenso del nivel del mar en siete ciudades vulnerables fueron identificadas y diseñadas por el INVEMAR. Las medidas incluyen desde la planificación hasta la construcción de infraestructura para la protección de áreas críticas. Con la información provista por el IDEAM, se calcularon los costos anuales hasta el 2050 que ascienden a 469 millones de dólares por año.

Por otra parte, el “Programa Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático”-INAP financiado por el GEF además de diseñar, se encuentra implementando medidas de adaptación en tres áreas vulnerables identificadas por la Primera Comunicación Nacional: Incremento de morbilidad de malaria y dengue, ecosistemas de alta montaña y zonas insulares del Caribe Colombiano. Para el caso del incremento de morbilidad en malaria y dengue, las medidas de adaptación se concentran en el diseño de un sistema de alerta temprana para la vigilancia y control de dichas enfermedades que utilice variables climáticas para activar las alertas. Aunque el proyecto cubre 12 municipios endémicos, la medida puede fácilmente escalarse a la totalidad de municipios vulnerables a este impacto.

Con respecto a las medidas de adaptación en ecosistemas de alta montaña, el INAP incluye la planeación y manejo de los ecosistemas, la planificación adaptativa del uso del suelo para la reducción de los impactos del cambio climático y la degradación del suelo, y el mejoramiento de la productividad de los agroecosistemas para disminuir su vulnerabilidad socioeconómica a los impactos del cambio climático.

Por último, el componente de zonas insulares del Caribe trabaja en el diseño e implementación de medidas de adaptación por disminución en disponibilidad hídrica en San Andrés con sistemas de recolección de aguas lluvias y el soporte a la implementación de las áreas marinas protegidas en San Andrés, Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte, además del fortalecimiento de los sistemas de monitoreo del aumento del nivel del mar.

Las anteriores medidas y proyectos han sido implementados de forma dispersa y sin tener una orientación general o una política que permita evaluar los avances nacionales en la adaptación al cambio climático. Los costos del diseño e implementación a nivel piloto de medidas de adaptación han sido bajos (15 millones de dólares), sin embargo, los beneficios de las medidas también han sido limitados, con excepción de las medidas de adaptación en el sector salud. El ejercicio realizado por el INVEMAR de diseño de medidas para la adaptación al ascenso del nivel del mar, muestra costos significativos (469 millones de dólares por año) o el 0,2% del PIB de 2007, que aunque corresponde a la mitad de los costos calculados por el daño de viviendas en Cartagena y Tumaco, hacen más urgentes el tener una política para la evaluación e implementación de medidas de adaptación tanto de política como de infraestructura.

En el área de mitigación, este estudio encontró que existe información que permite proyectar las emisiones de gases efecto invernadero agregada y en distintos sectores, con excepción de las emisiones por cambio en el uso del suelo y forestería. Este trabajo analizó las proyecciones de emisiones del sector energético por quema de combustibles fósiles. Las emisiones resultantes indican un aumento de 60,3 Gg de CO₂ en el 2000 a 125,6 Gg de CO₂ en 2025 y 215,3 Gg de CO₂ en el 2040, lo que arroja una tasa de crecimiento interanual promedio del 2,9% en los primeros 25 años y del 3,2% en los 40 años del horizonte de análisis (tomando como base las emisiones de 2000). Por otra parte, las emisiones del sector agropecuario con base en SDA - Corporación Ecovera (2009) muestran que se incrementarían desde 65.169 Gg de CO₂e en el 2000 a 87.557 Gg en el 2019, equivalente a un aumento del 34%.

De forma agregada y sin incrementar las emisiones por deforestación, se prevé que las emisiones nacionales pasen de 177.575 Gg de CO₂e en el 2000 a un rango entre 240.000 a 300.000 Gg de CO₂e en el 2019, equivalente a un incremento aproximado del 50% durante el periodo.

El ejercicio de INVEMAR también permitió evaluar el costo-eficiencia de algunas opciones de mitigación para el sector energético. La totalidad de las medidas de mitigación evaluadas tienen un potencial de reducción de 17.500 Gg de CO₂e por año, equivalente al 10% de las emisiones del año 2000 o al 7% de las emisiones proyectadas en el 2019. Sin embargo, el costo-efectividad de dichas medidas varía sustancialmente desde opciones que generarían ahorros netos de hasta 50 dólares/Ton CO₂e reducida, hasta medidas con costos del orden de 68 dólares/Ton CO₂e reducida. Las medidas de mayor costo-eficiencia evaluadas incluyen la reducción de la oferta de buses públicos urbanos, aumento en ocupación de vehículos particulares, mejora de eficiencia en motores eléctricos industriales y reducción de uso de leña para cocción.

En SDA - Corporación Ecovera (2009) se evaluaron medidas de mitigación en los sectores agropecuarios y de transporte. Las medidas con mayor potencial de mitigación corresponden a la implementación de los sistemas de transporte masivos mediante buses articulados y el incremento en el uso de los biocombustibles. Estas alternativas, aunque con costos muy superiores en comparación con los potenciales ingresos por venta de carbono, podrían alcanzar una reducción de hasta el 5% de las emisiones nacionales proyectadas al 2020.

Ante estos resultados y teniendo en cuenta que los sectores con mayor participación en el inventario nacional se caracterizan por tener fuentes dispersas y atomizadas (transporte, agropecuario y cambio de uso del suelo) el INVEMAR recomienda que la estrategia de mitigación nacional se concentre en la implementación efectiva de acciones de mitigación mediante la incorporación de la variable de carbono a la planificación y los programas de desarrollo de estos sectores, por ejemplo:

- Sector Transporte: Transmilenios, trenes de cercanías, control de sobreoferta y chatarrización,
- Sector Agropecuario: Programas de reconversión ganadera y manejo de fertilizantes, y
- Sector ambiental: Control de la deforestación y programas de reforestación.

Por otra parte, el estudio de INVEMAR recomienda establecer incentivos dirigidos al sector industrial para el mejoramiento de la eficiencia energética, al igual que en el sector de generación de energía eléctrica, en donde recomienda diseñar incentivos a la generación de energía con fuentes renovables distintas a las hidroeléctricas, con el fin de valorar el doble beneficio de mitigación y adaptación dentro del esquema actual del mercado de generación de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta el potencial de mitigación evaluado en este estudio, las metas de reducción podrían estar en el orden de 5% al 10% con respecto al escenario tendencial en el 2020 (*Business as Usual* - BAU). Estas metas dependerán principalmente de la efectividad de estrategias en temas como control de la deforestación, aumento en uso de biocombustibles, eficiencia energética del sector industrial y programas en el sector de transporte.

En el área de la adaptación, se recomienda adelantar estudios temáticos de vulnerabilidad y adaptación para los impactos que preliminarmente han sido identificados como significativos: ascenso del nivel del mar, enfermedades transmitidas por vectores, modificación de productividad agrícola y seguridad alimentaria, alteración de ecosistemas, generación de energía hidroeléctrica, disponibilidad hídrica y gestión del riesgo y aumento de eventos extremos. Los estudios deberán estar estandarizados y también deberán proveer información sobre los flujos de inversión y financiación requeridos para la adaptación y la evaluación de costo-efectividad de las medidas entendida como la disminución de la vulnerabilidad por peso invertido. Adicionalmente se recomienda asignar responsabilidades institucionales para la evaluación de la vulnerabilidad y diseño de la adaptación en cada área y establecer un proceso liderado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para la implementación de las acciones de adaptación.

Por último, para avanzar hacia una economía baja en carbono y teniendo en cuenta la dependencia de la economía nacional en la producción de combustibles fósiles (carbón y petróleo), el estudio propone cinco políticas de largo plazo que apuntan a la reducción significativa de las emisiones de gases efecto invernadero en Colombia que a la vez son compatibles con programas de desarrollo de largo plazo que el país tiene contemplado como son las inversiones en el sector minero energético, el mejoramiento de la actividad ganadera, la producción y exportación de biocombustibles y el desarrollo del sector forestal.

I. El cambio climático en Colombia

A. El contexto global

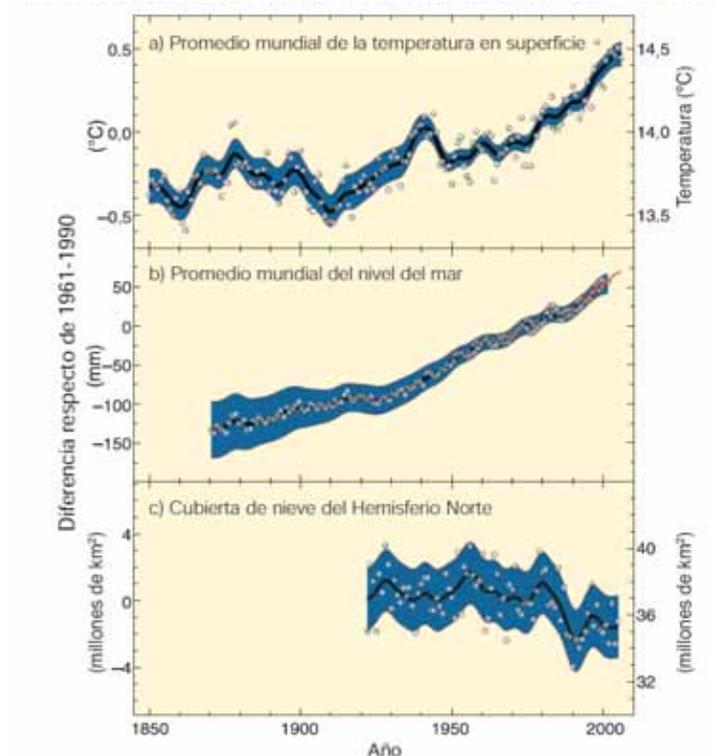
El cambio climático es causado por la emisión de gases efecto invernadero (GEI), principalmente el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004, (ver gráfico 2a) y por lo tanto las concentraciones de dichos gases en la atmósfera son actualmente muy superiores a los niveles pre-industriales.

De acuerdo con el IPCC (2007), el calentamiento del sistema climático es inequívoco. En su más reciente informe de evaluación se presentan evidencias de los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y glaciares, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar (ver gráfico 1).

Mundialmente las emisiones de gases efecto invernadero provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles en la generación de energía, el transporte y los procesos industriales, en menor medida de la deforestación y procesos agrícolas y disposición de residuos (ver gráfico 2 b y c).

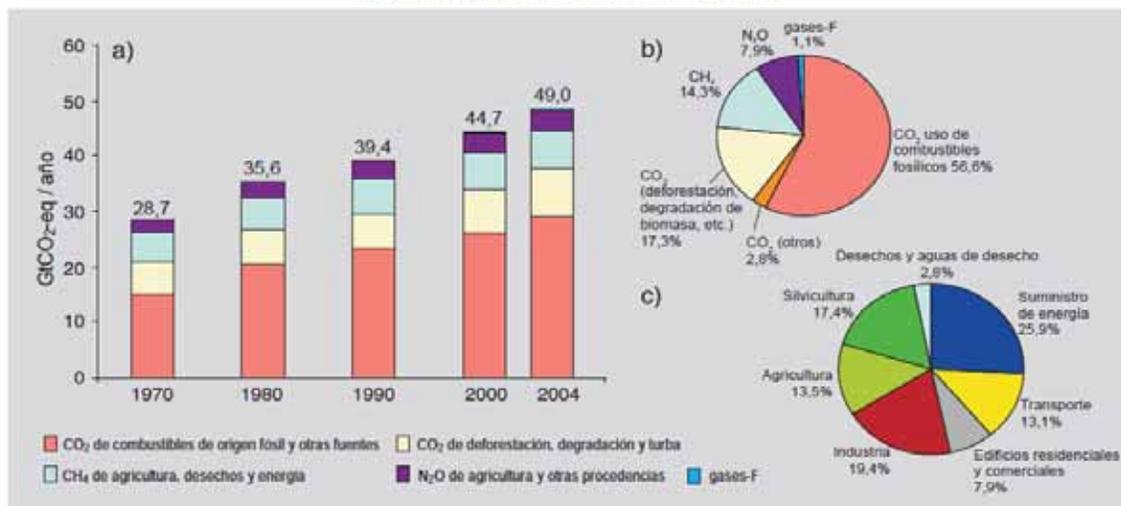
De seguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX.

GRÁFICO 1
CAMBIOS EN LA TEMPERATURA, EN EL NIVEL DEL MAR
Y EN LA CUBIERTA DE NIEVE DEL HEMISFERIO NORTE



Fuente: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.*

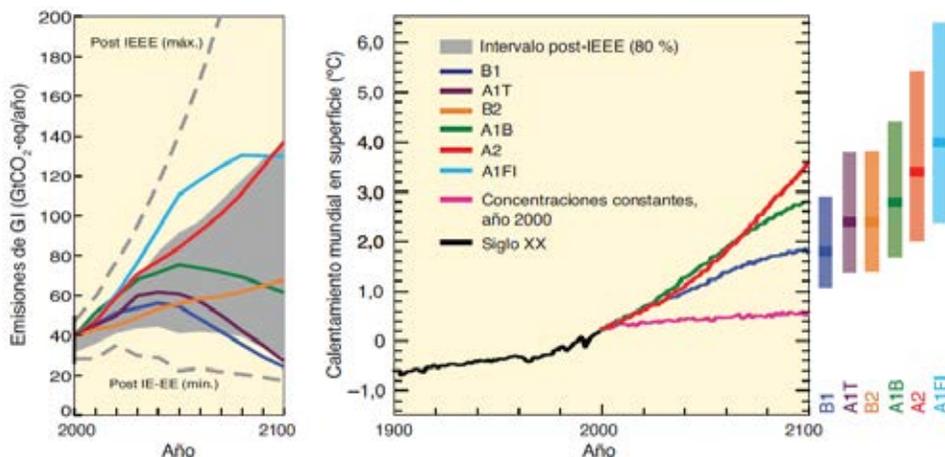
GRÁFICO 2
EMISIONES MUNDIALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ANTROPÓGENOS



Fuente: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.*

Para los dos próximos decenios las proyecciones del IPCC indican un calentamiento de aproximadamente 0,2°C por decenio para toda una serie de escenarios futuros de emisiones. Aunque se hubieran mantenido constantes las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero y aerosoles en los niveles de 2000, cabría esperar un ulterior calentamiento de aproximadamente 0,1°C por decenio.

GRÁFICO 3
ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ENTRE 2000
Y 2100 (EN AUSENCIA DE POLÍTICAS CLIMÁTICAS ADICIONALES),
Y PROYECCIÓN DE LAS TEMPERATURAS EN SUPERFICIE



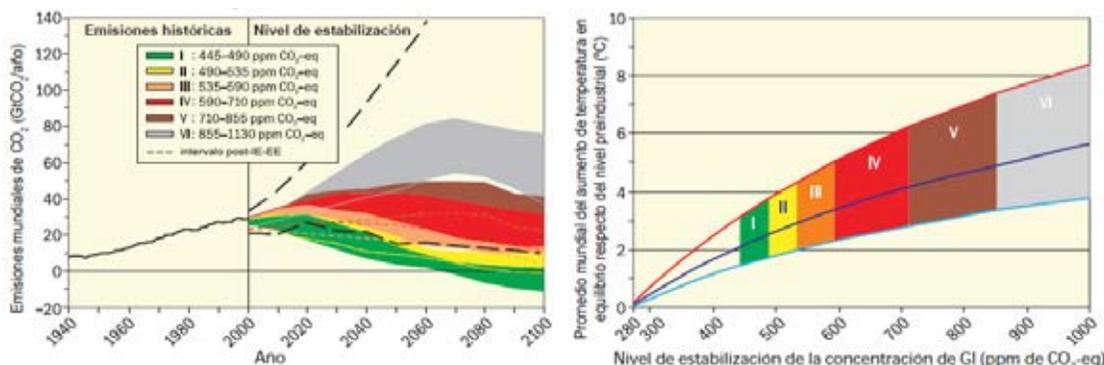
Fuente: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.*

Probablemente algunos sistemas, sectores y regiones resultarán especialmente afectados por el cambio climático. Entre los ecosistemas terrestres más afectados se encuentran los páramos debido a su sensibilidad al calentamiento y los bosques pluviales tropicales por la disminución en la precipitación. Entre los ecosistemas marinos y costeros se encuentran los manglares y los corales debido a su sensibilidad al calentamiento. Los recursos hídricos también se verían afectados en ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la alteración de las precipitaciones de lluvia y de la evapotranspiración, y en áreas dependientes de la nieve y del agua de deshielo. Asimismo la agricultura en latitudes medias, debido a una menor disponibilidad de agua; los sistemas costeros bajos, debido al peligro de aumento del nivel del mar y al mayor riesgo de fenómenos meteorológicos extremos; y la salud humana por la expansión de enfermedades causadas por vectores (malaria, dengue, entre otras).

Con el fin de estabilizar la concentración de GEI en la atmósfera, las emisiones tendrían que alcanzar su nivel máximo y disminuir posteriormente. Cuanto más bajo sea el nivel de estabilización de concentraciones, más rápidamente tendría que alcanzarse ese máximo de emisiones y su subsiguiente disminución. De acuerdo con el IPCC (2007) para controlar el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C se requiere estabilizar las concentraciones de CO₂e a niveles de 445 a 490 partes por millón (ppm), y por lo tanto las emisiones globales deberán alcanzar un máximo durante el periodo 2000 a 2015 y posteriormente descender hasta la mitad de las emisiones del 2000 para el 2050.

Las trayectorias de estabilización de emisiones y sus consecuencias sobre el aumento de la temperatura son la base de las negociaciones internacionales para acordar metas globales de reducción de emisiones en el nuevo régimen climático de largo plazo bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

GRÁFICO 4
EMISIONES DE CO₂ Y AUMENTO DE LA TEMPERATURA EN EQUILIBRIO
PARA UNA SERIE DE NIVELES DE ESTABILIZACIÓN

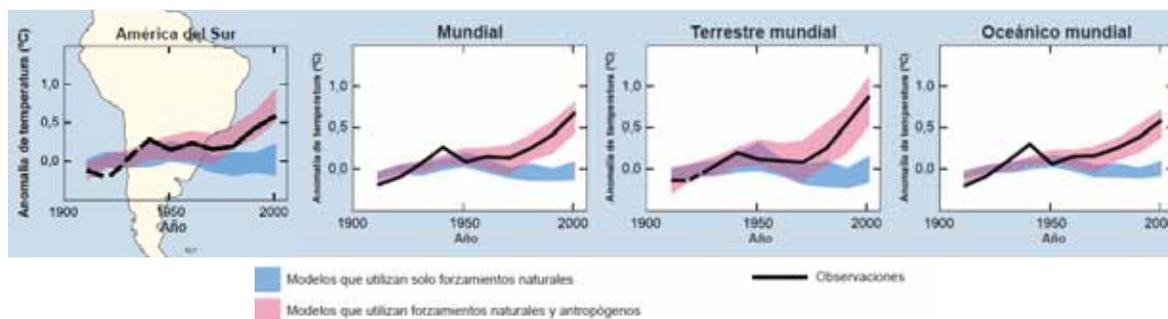


Fuente: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.*

B. Evidencia disponible a nivel regional

Al igual que en otras regiones, en América Latina también se ha evidenciado el cambio climático. La evidencia se obtiene al comparar los resultados de modelos que predicen el clima con base en fenómenos naturales y los que incorporan causas antrópicas, como se muestra en el gráfico 5 (IPCC, 2007).

GRÁFICO 5
CAMBIO DE TEMPERATURA REGIONAL Y MUNDIAL



Fuente: Basado en figura 2.5 del *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.*

De acuerdo con el gráfico 5, en el último siglo, la temperatura media en la región de América Latina se ha incrementado en 0,5 °C debido a la interferencia antropógena en el clima.

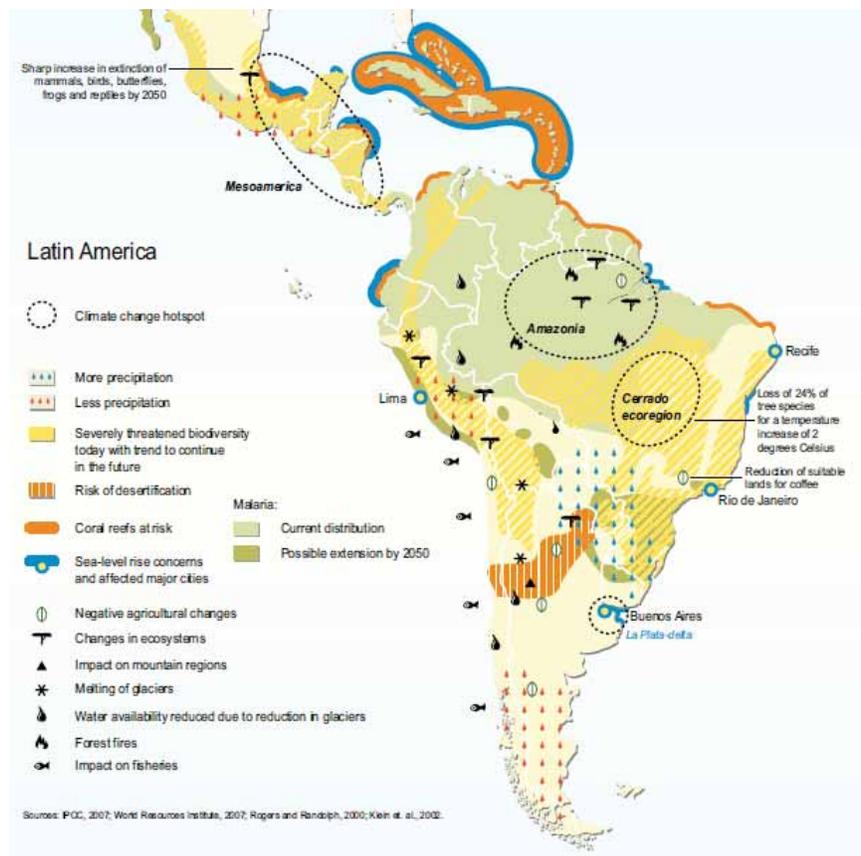
El IPCC (2007) prevé que para el 2050 en América Latina los aumentos de temperatura y, por consiguiente, la disminución del agua en los suelos darían lugar a una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este de la Amazonia, y la vegetación semiárida sería sustituida por vegetación de tierras áridas. Asimismo, podrían producirse pérdidas importantes de biodiversidad debido a la extinción de especies en numerosas áreas de la América Latina tropical.

Con relación a los impactos del cambio climático en la agricultura, el IPCC (2007) prevé una disminución de la productividad en ciertos cultivos importantes así como de la productividad pecuaria con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. En conjunto, aumentaría el número de personas amenazadas de hambre en la región.

Por último, los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían seriamente la disponibilidad de agua para el consumo humano, para la agricultura y para la generación de energía.

El gráfico 6 muestra los principales impactos esperados en la región de acuerdo con (UNEP, 2009). Se muestra que para Colombia se esperan impactos en los ecosistemas coralinos del Caribe, pérdidas en biodiversidad y reducciones en la disponibilidad hídrica. Sin embargo, a nivel regional se observan mayores impactos en los bosques de la Amazonía, deshielo de glaciares en la región andina, aumento del riesgo de desertificación al sur de Bolivia y norte Chile y Argentina, y pérdida de productividad pesquera en el Pacífico, entre otros.

GRÁFICO 6
IMPACTOS ESPERADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA



Fuente: *United Nations Environmental Programme (UNEP), 2009.*

C. El cambio climático a nivel nacional

Colombia ha avanzado en el análisis de los impactos de cambio climático principalmente por las investigaciones adelantadas por el IDEAM y el INVEMAR. A continuación se presentan los principales resultados sobre los impactos del cambio climático en el clima, recursos hídricos, zonas costeras y marinas, y ecosistemas.

1. Clima

La distribución espacial de la temperatura media anual del aire se asocia con la topografía del territorio conformando los pisos térmicos. Es así como la zona oriental, las llanuras del Caribe y una franja en el litoral Pacífico, son homogéneas térmicamente con una temperatura media anual entre los 24° y los 28° C. Las temperaturas medias anuales superiores a los 28°C se encuentran en la parte baja, media y en un sector de la parte alta del Río Magdalena. En las zonas andina e interandina hay una variedad de pisos térmicos debido a las grandes variaciones de la temperatura del aire con la altura. El piso nival con temperaturas menores a 0°C se encuentra sobre los 4.600 metros sobre nivel del mar msnm y es el área de menor extensión del territorio.

a) Estimaciones de la temperatura media anual del aire

En la Segunda Comunicación Nacional se reporta que el país ha encontrado evidencias del cambio climático durante el periodo 1971 a 2000 equivalente a un aumento de temperatura media del país de 0,13°C por década (IDEAM, 2010), Esto soporta las conclusiones del IPCC relativas a que el cambio climático ya se está generando.

Las proyecciones de la temperatura en el país las realizó el IDEAM (2010) con base en el modelo PRECIS (por su nombre en inglés), que significa “Proveyendo Climas Regionales para Estudios de Impacto (*Providing Regional Climate for Impact Studies*)” y utilizando los escenarios de emisiones mundiales *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) del IPCC (SRES A2 y el SRES B2) para tres periodos: 2011 a 2040; 2041 a 2070 y 2071 a 2100. Los resultados de estas proyecciones concluyen que la temperatura promedio del aire en Colombia aumentará: 1,4°C para los años 2011 a 2040; 2,4°C para 2041 a 2070 y 3,2°C para el periodo 2071 a 2100. Los aumentos más significativos se ubicarían en los departamentos de Norte de Santander, Risaralda, Huila, Sucre y Tolima. Resultados similares se encontraron para las temperaturas mínimas y máximas, donde los incrementos para los tres periodos se encuentran en el rango de 1,1°C a 3,6°C.

2. Recursos hídricos

En Colombia existen cuencas de grandes áreas de drenaje de las cuales 149 son mayores que 1.000 km² conformadas por sub-cuencas con drenaje inferior a 10 km² y que en su ramificación alcanzan un área estimada de 700.000 km². Existen grandes extensiones de complejos cenagosos con la función reguladora de la planicie inundable y cerca de 1.600 lagunas, lagos y embalses, que almacenan un volumen estimado de 26.300 millones de m³ de agua. La oferta hídrica modal² es de 1.910 km³ al año y en condiciones hidrológicas de estiaje, la oferta es de alrededor de 1.240 km³ al año (IDEAM, 2008).

Algunas regiones tienen una gran abundancia de escorrentía con láminas de agua que pueden alcanzar desde los 4.000 a los 6.000 mm/año (ríos Dagua, Baudó, San Juan, Micay y Atrato). Otras regiones como la Alta y Baja Guajira, San Andrés y Providencia, Río Cesar y la Sabana de Bogotá, son deficitarias en escorrentía con deficiencias que fluctúan entre 70% y 90% frente al promedio nacional (IDEAM, 2001).

a) Estimaciones de los cambios probables en la precipitación anual

Mediante las estimaciones del modelo PRECIS y usando los escenarios más intensivos en emisiones (familias A2) del IPCC, el IDEAM encuentra reducciones significativas en las lluvias especialmente en las regiones Andina y Caribe (IDEAM, 2010). Particularmente la reducción de la precipitación se daría en los siguientes departamentos: Sucre (-36,3%), Córdoba (-35,5%), Bolívar (-34,0%), Magdalena (-24,6%) Atlántico (-22,3%), en la región Caribe; Caldas (-21,9%) y Cauca (-20,4%) en la región Andina. Para la Sabana de Bogotá, el IDEAM proyecta una reducción de precipitación anual del 16,1% para el

² La oferta hídrica modal hace referencia a la moda estadística del valor de la oferta hídrica.

periodo 2011-2040. Por otra parte, para la región de la Amazonía, el Chocó biogeográfico y San Andrés se proyecta un aumento en las precipitaciones.

Con base en las estimaciones de cambios en precipitación y humedad, el IDEAM concluye que según la clasificación climática de Lang, que los cambios más significativos se esperarían en la región Caribe, que cambiaría de un clima semihúmedo (condiciones actuales) a semiárido y luego estaría clasificado como árido para finales del siglo XXI. En la región Andina, los cambios más notorios se prevén por una transición de clima semihúmedo a clima semiárido, lo cual se presentaría en diferentes áreas de Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Huila y oriente del Valle del Cauca, especialmente.

Con base en el escenario de precipitación y temperatura (2071 a 2100) y la estimación indirecta (balance hídrico) a partir de los resultados del modelo PRECIS, el IDEAM calcula que se tendrían reducciones alrededor del 30% de la escorrentía promedio en las cuencas del Alto y Bajo Magdalena, Cauca, parte del Litoral Caribe, Saldaña, Cesar y Bogotá, que abarcan parte de los departamentos del Magdalena, Cesar, Atlántico, Bolívar, Córdoba, Sucre, Huila, Tolima y Cundinamarca.

Teniendo en cuenta estos resultados es crítica la región de la Sabana de Bogotá por la conjugación de la baja oferta (500mm/año) y la fuerte presión antrópica sobre el recurso y las Cuencas del Magdalena y del Cauca que en conjunto representan sólo el 25% del volumen anual de agua y que abastecen con más del 95% el consumo de agua para actividades productivas y domésticas (IDEAM, 2001).

Entre los años 1985 y 2005 la disponibilidad de agua en el país se redujo de 60.000 a 40.000 m³hab/año. Con el actual crecimiento de la población, de la industria y los hábitos de consumo vigentes, en el término de cuarenta años el país alcanzará valores críticos en este indicador. De acuerdo con la evaluación de los escenarios hidrológicos de un año modal (cuando la oferta se toma como el valor más frecuente probable) el 6% de la población se vería afectada por índices de escasez³ altos y para un año seco (cuando las condiciones hidrológicas son extremas hacia el estiaje), el porcentaje de población afectada por un índice de escasez alto alcanzaría el 8% del total de la población (IDEAM, 2008).

3. Zonas costeras e insulares

Los efectos del cambio climático sobre la zona costera podrían ocasionar intrusión de la cuña salina que generaría un probable desplazamiento hacia tierra de las fronteras internas de las áreas ocupadas por los manglares, limitado por el relieve costero y los asentamientos humanos. De acuerdo con IDEAM (2001), se podrían afectar con ascenso del nivel freático y cuña salina, 132,9 km² en el Litoral Pacífico y 2.041,3 km² en el Caribe.

En la Isla de San Andrés se produciría la salinización de los acuíferos y aumento del nivel freático, zonas extensas de inundación, daños en la infraestructura, afectación al suministro de agua potable a la población, afectación al turismo, al comercio y a la salud. Se estima una pérdida del 17% del terreno en la Isla de San Andrés (Chaparro y Jaramillo 2002). El posible ascenso del nivel del mar podría inundar las lagunas costeras y dunas asociadas de diversas poblaciones del Caribe. Bajo un escenario de un metro de aumento del nivel del mar se estima que alrededor de 4.900 km² de los Litorales Caribe y Pacífico quedarían inundados permanentemente y además, 5.100 km² se verían anegados (INVEMAR, 2003).

4. Perfil ecosistémico

En Colombia se presentan tres grandes tipos de biomas: Gran Bioma del Desierto Tropical que cubre un 1% del territorio nacional (Departamento de La Guajira); Gran Bioma del Bosque Seco Tropical (Región Caribe, Alto Magdalena y Valle del Cauca) y Gran Bioma del Bosque Húmedo Tropical (el resto del territorio nacional continental).

³ El índice de escasez establece la relación entre las demandas potenciales de agua y la oferta hídrica neta para un municipio, sitio o tramos de un río, o cuenca hidrográfica.

En los 3.000 km de litoral en los dos océanos, se presentan todos los ecosistemas marinos del trópico con mayor representatividad de las lagunas costeras y manglares, y las praderas de pastos y las áreas coralinas. El 68,8% del territorio está compuesto por ecosistemas naturales (bosques, arbustales, herbazales, y cuerpos de agua naturales). Las áreas transformadas representan el 31,1% (IDEAM y otros, 2007). Las transformaciones de los ecosistemas naturales en Colombia resultan de la ampliación de la frontera agrícola, el crecimiento de los asentamientos urbanos y rurales, la deforestación, la sobre extracción de recursos naturales y la contaminación.

La degradación de suelos y tierras en el país tiende a incrementarse, tanto en intensidad como en extensión. Como principales impactos, se encuentran la pérdida irreversible del suelo, las migraciones de fauna, la degradación de los suelos más aptos para la agricultura con la consecuente disminución de la productividad de los suelos, pobreza, violencia, inseguridad alimentaria y migraciones hacia las ciudades. Otro impacto de alto riesgo es el aumento de la susceptibilidad del territorio a las amenazas naturales como las crecientes súbitas, las sequías o las inundaciones y los deslizamientos de tierra (IDEAM y otros, 2004).

De acuerdo con el modelo para análisis de la vulnerabilidad desarrollado por el IDEAM y presentado en la Segunda Comunicación Nacional, los ecosistemas y sectores que presentan la mayor prioridad son:

- El Orobionoma Alto Andino, donde impactos clasificados como altos y muy altos podrían afectar sus ecosistemas (bosque natural y arbustales). Estos ecosistemas cumplen con una importante función de regulación hídrica.
- Los Parques Nacionales Naturales de Macuira, Tayrona y Corales del Rosario y San Bernardo; y en el largo plazo los de Pisba, Nevados, Sumapaz, las Hermosas, el Cocuy y Chingaza.
- Los cultivos de café caturra por déficit de lluvias ubicados en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Quindío, Caldas, Huila, Tolima, Cauca y Risaralda.
- Los cultivos anuales o transitorios en los departamentos de Antioquia, Tolima, Boyacá, Córdoba, Cundinamarca y Santander.
- Las áreas de minifundios campesinos afectadas por reducciones en precipitación en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Bolívar, Nariño y Santander.
- Los ecosistemas secos y sus servicios ambientales debido a que se espera un incremento de las áreas semihúmedas y áridas a finales del siglo.
- Las poblaciones costeras y principalmente los centros urbanos de Cartagena, San Juan de Urabá, Turbo, Ponedera, Puerto Colombia, Tumaco, El Charco, Nuquí, Juradó, Santa Bárbara y Olaya Herrera, por el ascenso del nivel del mar.
- La capacidad de generación hidroeléctrica en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila y Nariño.

II. Escenarios macroeconómicos y demográficos del país

A. El contexto internacional y sus efectos sobre el país

La presente sección recoge la evaluación presentada por el Banco de la República en su informe semestral al Congreso en julio de 2009.

Durante la primera mitad de 2009, la economía mundial continuó sintiendo los efectos de la crisis financiera en los Estados Unidos y en otros países desarrollados originada por la quiebra de Lehman Brothers en 2008, misma que con altibajos en su intensidad y en la forma como distintos grupos de países se han visto afectados. Para el primer trimestre de 2009, los datos de crecimiento mostraron una contracción de las economías industrializadas, en la mayoría de los casos superior a la observada en la última parte de 2008. En particular, la zona del euro y Japón registraron caídas trimestrales anualizadas de actividad económica de 9,7% y 14,2% respectivamente, algo sin precedentes en la historia reciente. La economía de los Estados Unidos se contrajo 5,5%, magnitud similar a la del último trimestre de 2008.

La crisis del mundo desarrollado repercutió fuertemente sobre la actividad real de las economías emergentes, que en su conjunto mostraron una contracción de 4% en el primer trimestre de 2009 frente al mismo período de 2008. En este caso, la caída más fuerte se produjo en los países de Europa del Este, cercana al 15% anual, como resultado de fuertes salidas de capital generadas por grandes desequilibrios macroeconómicos y ausencia de flexibilidad cambiaria.

Igualmente, varias economías emergentes de Asia como Corea del Sur, Hong Kong y Taiwán registraron fuertes desaceleraciones, en vista de su elevada dependencia del comercio internacional. Sin embargo, el relativo buen desempeño de China e India, gracias a estímulos macroeconómicos y el tamaño de sus mercados internos, lograron hasta cierto punto compensar la contracción de la región. Finalmente, en el caso de América Latina, se observó en el primer trimestre de 2009, una fuerte caída en México (8,2%), resultado de sus estrechos vínculos comerciales y financieros con los Estados Unidos, en tanto que Brasil, Chile y Colombia experimentaron contracciones de menor magnitud. Por su parte, Perú creció a una tasa de 1,8%, significativamente inferior al crecimiento del año anterior. Algo similar ocurrió en Venezuela y Ecuador, con crecimientos en el primer trimestre de 2009 de 0,3% y 1,2%, respectivamente.

Para el segundo semestre de 2009 indicadores líderes de producción industrial y comercio internacional sugieren que la contracción económica mundial comenzaría a ceder, y que podría estarse iniciando un proceso de estabilización de la economía global, apoyada en las fuertes medidas contracíclicas adoptadas por los gobiernos y bancos centrales alrededor del mundo. La mejoría en las expectativas a seis meses y un año de empresarios y consumidores en los Estados Unidos y Europa confirman esta percepción. A este respecto, el Fondo Monetario Internacional (FMI) dio a conocer en julio de 2009 una revisión al alza de sus pronósticos de crecimiento de la economía mundial, que en el año 2010 alcanzaría 2,5%, superior al 1,9% que se estimaba en abril. Dicha entidad advierte, sin embargo, que la recuperación será lenta y muy desigual. Las economías avanzadas, luego de una contracción de 3,8% prevista para 2009, no mostrarían una recuperación de su actividad económica sino en la segunda mitad de 2010, cuando alcanzarían un crecimiento anual de 0,6%, algo mejor que el 0% que se estimaba en abril. Por su parte, se prevé que las economías emergentes retomen una senda positiva a partir del segundo semestre de 2009 (con notables diferencias regionales), y que crezcan a una tasa de 4,7% en 2010, por encima del 4% que se preveía en abril.

Este contexto de contracción económica mundial, pérdida de confianza, reducción del comercio internacional y debilidad de los mercados financieros, afectó el desempeño de la economía colombiana al igual que el de muchas otras economías emergentes. A pesar de ello, el comportamiento del producto interno bruto (PIB) a partir del segundo semestre de 2009 mostró que la economía colombiana logró resistir, mejor que muchos otros países emergentes, los duros efectos de la crisis. Al respecto, cabe destacar que la caída de 0,6% de la actividad económica en Colombia durante el primer trimestre, comparado con el mismo período de 2008, resultó menor que la correspondiente para las economías de Brasil (-1,8%); Chile (-2,1%) y México (-8,2%). Igualmente, la moderada contracción económica en Colombia se compara favorablemente con las caídas del producto que tuvieron los países emergentes de Europa del Este y algunos de Asia.

En este adverso ambiente económico, la economía colombiana está resistiendo mejor que muchos otros países emergentes de desarrollo similar. Esto no es algo fortuito, sino el reflejo de los buenos fundamentos económicos del país y de la política económica prudencial que antecedió a la crisis. Numerosos indicadores reflejan la mayor fortaleza de la economía colombiana frente al pasado. Entre otros, cabe mencionar el nivel de reservas internacionales; la solidez patrimonial y la baja exposición al riesgo del sistema financiero; la menor deuda externa (pública y privada) como proporción del PIB y su perfil de vencimiento a plazos largos; un déficit de cuenta corriente sostenible, financiado principalmente con inversión extranjera directa; las mayores tasas de ahorro e inversión de la economía, y la mayor capacidad de crecimiento potencial en un contexto de inflación baja y estable. A esto se agrega el acceso a la línea de financiamiento flexible por 10.400 millones de dólares del FMI, la cual se otorga a países con buen desempeño económico, políticas prudentes y un sólido marco de política económica.

B. El contexto nacional

Colombia experimentó un crecimiento positivo constante por casi 70 años (1932-1998). El crecimiento promedio del PIB real en Colombia entre 1980 y 1999 fue de 3,1%. En la década de los años ochenta, el PIB de Colombia creció a una tasa promedio de 3,5%, más del triple del promedio regional de 1,2%. El

crecimiento real de la economía se desaceleró durante los noventa, hasta un promedio de 2,5%, cercano al de Latinoamérica y el Caribe. Debido al desbalance macroeconómico en las cuentas fiscal y corriente y a la crisis internacional, el crecimiento económico de Colombia se redujo entre 1996 y 1998 y declinó pronunciadamente en 1999 llegando a un crecimiento de -4,2%. Sin embargo, el gobierno colombiano tomó medidas que lograron reactivar la economía observándose un crecimiento del 2,9% para el año 2000. Para el período comprendido entre 2001 y 2006 la economía mostró una tasa de crecimiento promedio de 4,4%. La actual crisis financiera internacional ha tenido impactos importantes sobre la economía colombiana que han hecho reducir las tasas de crecimiento (2,5% para el 2008) al igual que los pronósticos para 2009 y 2010. Teniendo en cuenta que como consecuencia de la actual crisis los datos proyectados de PIB para el 2009 y años posteriores se revisan periódicamente, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) indica que Colombia creció cerca de 1,6% en el 2009, 4% en el 2010 y 5,9% en el 2011.

Con respecto a la estructura del PIB por ramas de actividad económica, datos del DANE muestran que para el 2004 los sectores de comercio y servicios contribuyeron con el 68% del PIB real, seguidos de los sectores de industria manufacturera y de los sectores agropecuario y minero con 14,5%. Entre 1975 y 1995, la agricultura, silvicultura, caza y pesca, y la industria manufacturera redujeron su participación en el PIB. Sin embargo, entre 1996 y 2007 manufacturas aumentó su participación mientras que agropecuaria, silvicultura, caza y pesca, y explotación de minas y canteras redujeron esta. Los sectores de transporte y servicios financieros y servicios sociales fueron los que más crecieron durante el período 1995 – 2007 (5,4%, 4,3% y 3,9% respectivamente promedio anual), seguidos por el sector manufacturero (3,5% promedio anual), y finalmente estuvieron el sector minero y agropecuario con un crecimiento promedio anual de 2,2% y 2,4% respectivamente.

Con respecto a las finanzas públicas, el Ministerio de Hacienda proyecta que en 2009 el Gobierno Nacional Central presente un déficit de 3,7% del PIB y el Sector Público Consolidado un déficit de 2,3% del PIB. Con respecto al sector externo, se espera un descenso en las exportaciones e importaciones de 18,8% y 5,9% para el año 2009, con un crecimiento promedio de 2,5% en exportaciones y 6,3% en importaciones para el período 2010 – 2013.

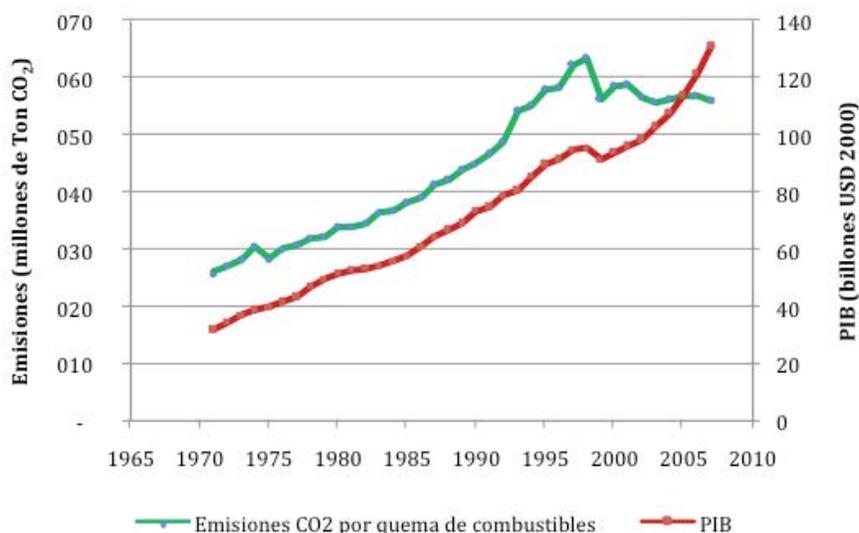
C. Desarrollo económico y emisiones

Teniendo en cuenta que en Colombia sólo existen cálculos de inventarios nacionales para 4 años (1990, 1994, 2000 y 2004), es necesario recurrir a otras fuentes para analizar el comportamiento y relación entre el desarrollo económico y las emisiones de CO₂. La Agencia Internacional de Energía (IEA) estima las emisiones históricas de CO₂ por quema de combustibles fósiles para distintos países, incluyendo a Colombia. El gráfico 7 muestra la comparación de las estimaciones por quema de combustibles fósiles y el producto interno bruto para Colombia durante el periodo 1970-2009.

Este gráfico muestra que en general las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles aumentan en la medida que crece el PIB. Sin embargo también se puede apreciar que en los últimos años (2002-2009) la trayectoria de emisiones se desligó de la tendencia de crecimiento del PIB, ya que a pesar de la expansión económica del periodo 2002 - 2008, las emisiones se mantuvieron estables.

Es probable que la estabilización de emisiones de CO₂ referida anteriormente no pueda mantenerse debido a que durante el último año el fenómeno de El Niño incrementó la generación térmica en la red y produjo un racionamiento de gas en el sector industrial debido al acaparamiento de las termoeléctricas de la capacidad instalada en el transporte del gas. Esto traerá como consecuencia que varias industrias regresen al carbón como energético de mayor confiabilidad para su producción reemplazando el gas natural.

GRÁFICO 7
RELACIÓN ENTRE EL PIB Y LAS EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO EN COLOMBIA

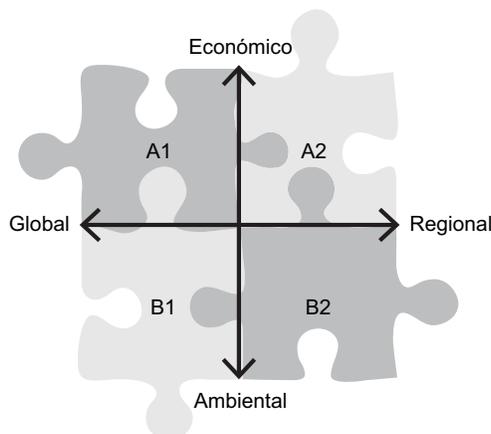


Fuente: *International Energy Agency (IEA), 2009.*

D. Escenarios macroeconómicos

El comportamiento de variables macroeconómicas como la población y el ingreso en el siglo XXI es fundamental para el desarrollo de metodologías que permitan modelar los efectos del cambio climático sobre la sociedad. El IPCC ha liderado el planteamiento de escenarios de cambio climático y actualmente se cuenta con las familias de escenarios A1, A2, B1 y B2, los cuales intentan cubrir un gran número de variables que influyen en el comportamiento de las emisiones. A continuación se presentan proyecciones de población e ingreso para Colombia.

GRÁFICO 8
ESCENARIOS INDEXADOS



Fuente: Elaborado por Departamento Nacional de Planeación (DNP) – Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible (SDAS).

A grandes rasgos los escenarios se clasifican en A o B, según el énfasis de la humanidad sea en el crecimiento económico o en el desarrollo sostenible, respectivamente. Los escenarios indexados 1 son aquellos en que hay acuerdos globales y cooperación de tal manera que las economías convergen, mientras que los 2 son aquellos en que cada región actúa independientemente.

1. Población

El comportamiento de la población de un país es crucial para entender el desempeño de la economía en el largo plazo. La fuerza laboral es el principal insumo de producción en una economía por lo que es importante estimar una tasa de crecimiento poblacional y contar con una proyección por edades para construir datos como la Población en Edad de Trabajar (PET). Estas variables serán fundamentales para la construcción de las funciones de producción agregadas sectoriales en los modelos usados para realizar ejercicios de cambio climático.

Cabe aclarar que el objetivo de las proyecciones aquí presentadas, no es la de obtener un pronóstico acertado sino replicar los escenarios SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) del IPCC sin asignar una probabilidad de ocurrencia o dar un juicio de valor sobre cada uno de ellos. Por esta razón la fecundidad y la mortalidad implícitas en las proyecciones aquí presentadas no son una estimación sino una calibración de acuerdo con las restricciones de cada uno de los escenarios.

El IPCC proporciona unos lineamientos generales en cuanto al comportamiento de la población que incluyen proyecciones de la población total hasta 2100. Los escenarios del IPCC son tomados de proyecciones realizadas por IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*) y ONU (Organización de Naciones Unidas) y se presentan desagregaciones por región entre las que se encuentran las proyecciones para Latinoamérica (Lutz, 1996).

En términos globales se tiene que para los grupos de escenarios A1 y B1, tanto la mortalidad como la fecundidad caen haciendo que la población mundial crezca hasta un pico de alrededor de 9 mil millones en 2050 y posteriormente decrece hasta llegar a cerca de 7 mil millones en 2100. Para el grupo A2 se pronostica una tasa de fertilidad que decrece lentamente por lo que la población mundial crece constantemente hasta unos 15 mil millones en 2100, sin embargo existe un escenario revisado (A2r) en donde la población llega solo a 12 mil millones. El escenario B2, por su parte, es un escenario intermedio en cuanto a la demografía en donde la población mundial crece hasta 10 mil millones en 2100.

En el caso de Colombia, para los escenarios A1 y B1 se proyecta una población que crece hasta la mitad del siglo alcanzando un nivel de alrededor de 60 millones y posteriormente decrece hasta llegar a unos 48 millones en 2100. Los supuestos utilizados para obtener estos resultados son una reducción promedio de la fecundidad de 1,2% cada año a partir de 2010 hasta el 2050 y una caída de la mortalidad promedio de 5% cada año hasta 2100. Lo anterior implica que en el 2050 se tendría una esperanza de vida al nacer de 82,1 y 82,3 años para hombres y mujeres respectivamente y una tasa global de fecundidad de 1,2 hijos por mujer.

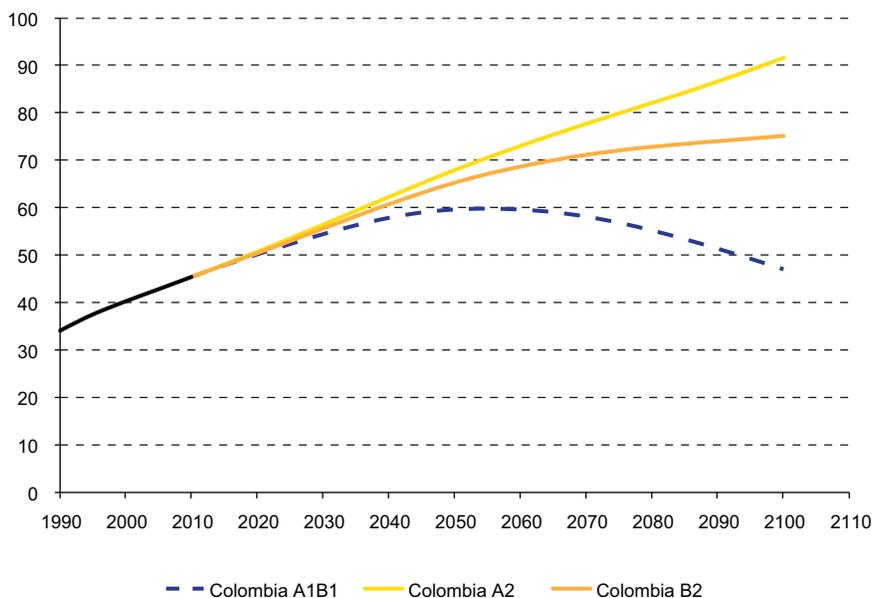
Para el escenario B2 la población se proyecta en cerca de 75 millones en 2100. Lo anterior se obtiene con una reducción de la mortalidad de 4,2% anual desde 2010 hasta 2050. A partir de este año, la mortalidad se mantiene constante. La fecundidad cae 0,3% anualmente hasta 2050 lo que implica una tasa global de fecundidad cercana a 2,1 hijos por mujer, que se mantiene constante hasta 2100.

En el caso del escenario A2, las proyecciones de población son explosivas, y han sido revisadas y corregidas por diversos artículos. Siguiendo la proyección original de IIASA y, suponiendo que Colombia se comporta igual que el promedio de Latinoamérica, la población sobrepasaría los 120 millones de personas en 2100. Aun en la revisión A2r, la población para Colombia estaría por encima de 100 millones. Con las tasas de fecundidad actuales, esto parece improbable, por lo que la proyección aquí presentada se realizó utilizando el criterio de que la población del escenario A2 sería la máxima posible respetando dos

puntos: Primero, que la fecundidad no creciera por encima de la observada actualmente y la mortalidad no fuera menor que en los otros escenarios⁴, ya que según el IPCC el escenario A2 es el más débil en desarrollo de tecnologías y el de menor crecimiento económico. Con esto en mente, la proyección aquí presentada asume una tasa de fecundidad constante e igual a la proyectada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para 2010 y la caída en la mortalidad se comporta igual a la del escenario B2 (que representa la caída más fuerte entre todos los escenarios). El resultado es una población de alrededor de 92 millones en 2100.

El gráfico 9 resume lo expuesto y muestra cómo se diferencian las proyecciones de población a partir del 2010. El gráfico 10 muestra el comportamiento de la participación etaria de la población para el año 2060. En este gráfico se pueden observar las diferencias en la composición etaria que se tendrían si se cumple alguno de los escenarios. En el caso de los escenarios A1 y B1 la población sería una población vieja mientras que el escenario A2 tendría una población más joven.

GRÁFICO 9
PROYECCIONES DE POBLACIÓN PARA COLOMBIA SEGÚN
LOS ESCENARIOS SRES DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En habitantes)

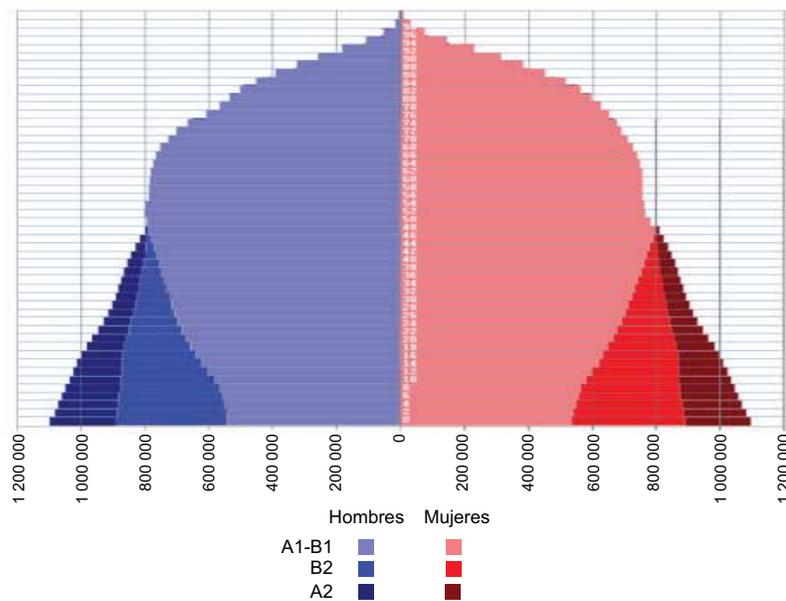


Fuente: Cálculos DNP (2009) basado en información demográfica del DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) hasta 2010.

Nota: *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) del IPCC (SRES A2 y el SRES B2).

⁴ La única forma de explicar un crecimiento por encima de este valor sería que la fertilidad revirtiera sus tendencias decrecientes, por ejemplo, si se dieran fenómenos tipos *baby boom*. Este modelo no contempla esa posibilidad.

GRÁFICO 10
PIRÁMIDES POBLACIONALES PROYECTADAS PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS SRES
 (Por grupos bianuales, en habitantes)



Fuente: Cálculos del Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2009) basado en información escenarios SRES, IPCC (2000).

Nota: Special Report on Emissions Scenarios (SRES) del IPCC (SRES A2 y el SRES B2).

2. Ingreso

El producto de un país es, tal vez, el indicador más habitual para hablar del desempeño de la economía. Al compararlo con la población se puede tener una idea del bienestar promedio de una sociedad. El IPCC incluye, para cada uno de los escenarios de cambio climático, proyecciones mundiales de producción que son coherentes con los supuestos básicos de cada escenario.

De nuevo, las proyecciones presentadas en este documento son las correspondientes a Colombia en cada uno de los escenarios del IPCC. Al igual que en el caso de la población, no se proyectará el PIB más plausible según lo que se observa actualmente sino que simplemente se tendrá una aproximación a las proyecciones del IPCC.

El modelo usado es un modelo de contabilidad social sencillo en el cual la producción de la economía es representada por una función tipo *Cobb-Douglas* y las variables exógenas son la tasa de desempleo, la tasa de inversión, el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF), la participación de capital y trabajo en el ingreso, la depreciación del capital y la población, que viene dada por las proyecciones descritas anteriormente.

El IPCC (2000) reporta una estimación de lo que podría ser el producto mundial hasta el año 2100. En este documento se encuentra una desagregación gruesa en regiones entre las cuales Colombia pertenece a la región de países No Anexo I o en desarrollo. Para cada región se tienen proyecciones del PIB y del PIB per cápita para todo el siglo. El cuadro 1 muestra el PIB per cápita proyectado para las diferentes macrorregiones y para cada escenario en los años 2050 y 2100. Los números entre paréntesis representan el valor máximo y mínimo para cada escenario.

CUADRO 1
INGRESO PER CÁPITA EN 2050 Y 2100

(En miles de dólares de 1990)

	1990	2050				2100			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
En desarrollo (no anexo I)	(1,3-2,1)	17,5 (12,2-8,0)	6,0 (4,6-6,0)	13,6 (8,0-15,3)	6,9 (4,4-7,7)	60,9 (44,2-69,5)	15,2 (11,3-15,2)	44,9 (41,3-45,8)	16,1 (13,6-22,6)
Desarrollados y economías en transición (anexo I)	(0,7-1,1)	15,9 (11,4-16,7)	3,9 (3,3-5,1)	10,9 (7,5-14,8)	8,1 (3,9-8,4)	66,5 (41,4-69,8)	11,0 (10,3-13,7)	40,2 (40,2-45,2)	18,0 (14,2-21,5)
Mundial	(3,7-4,0)	20,8 (14,3-21,5)	7,2 (6,0-9,9)	15,6 (12,7-19,1)	11,7 (7,7-11,9)	74,9 (43,7-77,9)	16,1 (15,9-16,9)	46,6 (46,3-49,6)	22,6 (19,2-24,5)

Fuente: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 2000.

La forma de usar el modelo fue similar al caso de las proyecciones demográficas. Primero, se definió para cada escenario un valor de PIB per cápita para Colombia en 2050 y 2100 y posteriormente se calibraron los parámetros para que el modelo arrojara los valores deseados. A continuación se presentan los resultados para cada uno de los escenarios SRES (los valores están en pesos constantes de 1994).

En el escenario A1, el de mayor auge económico se esperaría que el PIB llegara a sobrepasar los 2500 billones de pesos de 1994 en 2100, es decir, un PIB per cápita de cerca de 15 millones en el 2050 y 55 millones en 2100. Las condiciones para que esto sucediera serían una tasa de inversión que llegue al 42,5% en 2050 y se mantenga en estos niveles hasta final de siglo y un crecimiento de la PTF que se mantenga cercano 2,1% desde 2030 hasta el 2075 después de lo cual comienza a ser menor el crecimiento hasta ubicarse en 0,8% en 2100.

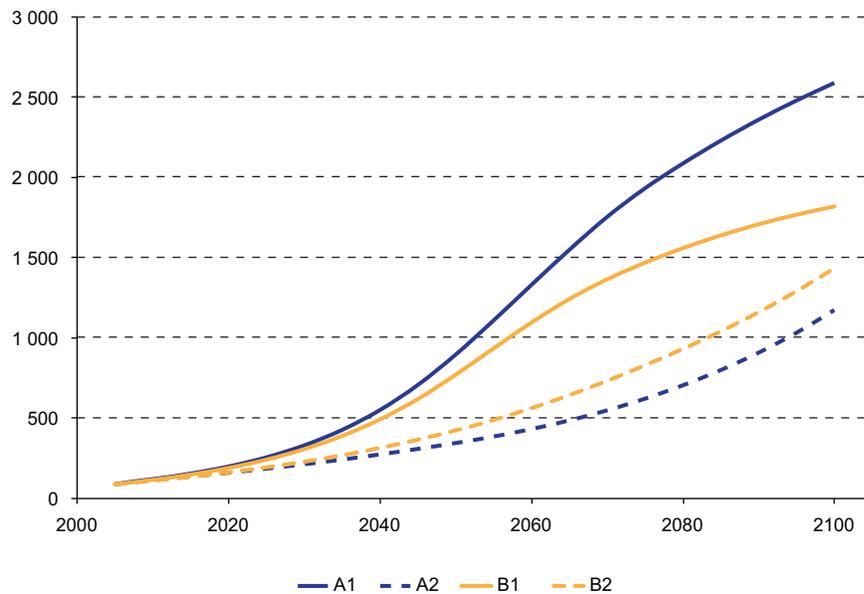
En el caso del escenario A2, el PIB per cápita alcanzaría 5 millones de pesos en 2050 y 12 millones en 2100, equivalentes a un PIB total de 1.175 billones en 2100. Lo anterior se lograría gracias a una tasa de inversión que crece tardíamente y más lentamente que en el resto de escenarios; en 2050, esta tasa sería de 25% y en 2100 llegaría a 38%. En este escenario la PTF se mantiene creciendo a una tasa de 0,7% anual durante todo el siglo.

En el escenario B1 la economía llega a la mitad del siglo con unos indicadores muy similares a los del escenario A1, posteriormente se empieza a alejar de este escenario y llega a tener un PIB de 1.800 billones de pesos de 1994 en 2100, o un PIB per cápita de 40 millones. La diferencia se debe a una inversión de 40% (frente a 42% en el escenario A1) y a un crecimiento de la PTF que no llega a 2% en 2030 y después de 2070 comienza a decaer hasta ubicarse en 0,6 en 2100.

Finalmente, el escenario B2 supone una tasa de inversión ligeramente mayor que la del escenario A2 durante todo el período y un crecimiento de la PTF que se mantiene en 1,3% anual hasta después de la mitad del siglo cuando comienza a crecer a un menor ritmo (0,6% en 2100). Con estos valores el ingreso per cápita sería de 6,5 millones en 2050 y 19 millones en 2100. El PIB sería de 1.434 billones de pesos en 2100.

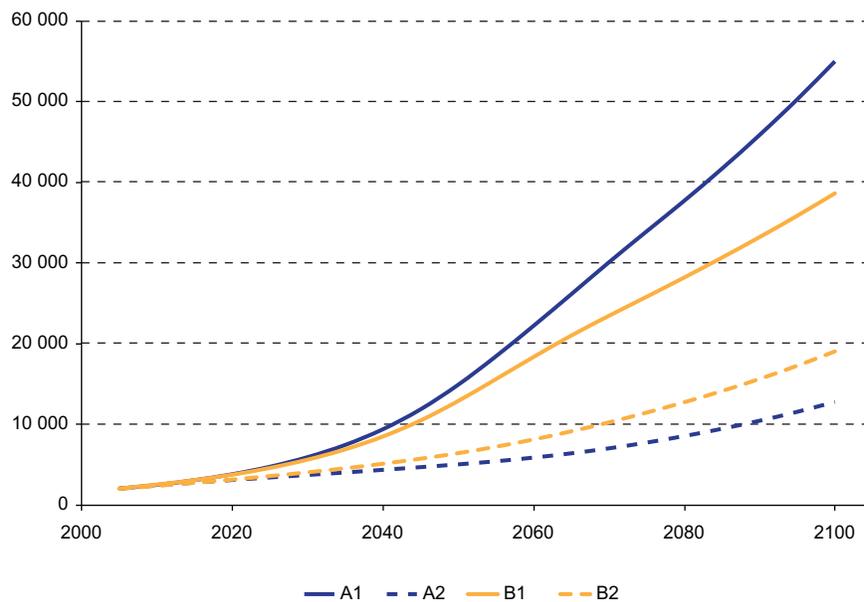
Los gráficos 11 y 12 muestran el comportamiento del PIB y del PIB per cápita para cada uno de los escenarios. Se puede apreciar que el escenario A1 presenta el mayor auge económico mientras que el A2 es el de menor crecimiento. La tendencia en el PIB total de los escenarios A1 y B1 tiene una disminución en las tasas de crecimiento al final del siglo. Lo anterior se explica principalmente por la caída en la población a partir de 2050 y en parte por un supuesto de reducción en el crecimiento de la productividad a final de siglo para los escenarios A1, B1 y A2.

GRÁFICO 11
PIB EN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En billones de pesos de 1994)



Fuente: Cálculos del Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2009).

GRÁFICO 12
PIB PER CÁPITA EN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En miles de pesos de 1994)



Fuente: Cálculos del Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2009).

III. La metodología del análisis económico del cambio climático

Este capítulo describe la metodología utilizada por el Estudio Nacional para estimar los costos económicos del cambio climático en Colombia. Como se mencionó en los capítulos anteriores, el cambio climático traerá impactos tanto a los sistemas socioeconómicos como a los ecosistemas. Por lo tanto, la estimación de los costos económicos se dividió metodológicamente para abarcar cada uno de estos sistemas como se explica a continuación.

A. Aproximación metodológica para estimar los costos económicos del cambio climático en los sistemas socioeconómicos

La metodología de análisis económico utilizada en este estudio se puede catalogar como una aproximación de “arriba hacia abajo” o “*top-down*”, consistente en utilizar un modelo que agrega los diferentes sectores de una economía para efectos de estudiar los impactos del cambio climático, ya sea a nivel general o a nivel sectorial. Esta aproximación se contrapone a la de “abajo hacia arriba” o “*botom-up*” que estudia los impactos en un nivel sectorial para después agregarlos y obtener el impacto en la economía general.

La estimación de los costos económicos se realizó utilizando un modelo de equilibrio general computable (MEGC) que simula los flujos de ingresos y gastos de una economía considerando las diferentes interrelaciones entre los sectores.

Los modelos de equilibrio general computable se construyen a partir de una matriz de contabilidad social (MCS) que captura los flujos económicos entre todos los sectores de la economía para un año determinado.

Las principales características de los MEGC desarrollado para el Estudio Nacional son:

- Se basa en el modelo GREEN (*General Equilibrium Environmental Model*, por sus siglas en inglés) desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) para cuantificar los efectos de políticas para las reducción de emisiones de gas carbónico. El GREEN se presenta detalladamente en Bourneaux y otros (1992).
- Las tecnologías de producción se asumen con rendimientos constantes a escala y las preferencias se asumen homotéticas.
- Se asume una conducta optimizadora por parte de los hogares y las firmas, y las funciones de exceso de demanda son homogéneas de grado cero y satisfacen la ley de Walras.
- Los mercados de factores y productos se asumen competitivos y los precios relativos lo suficientemente flexibles como para limpiar los mercados de factores y productos.
- Se considera que no existe sustitución entre el consumo intermedio, y el valor agregado. Lo anterior implica que las diferentes actividades productivas están sujetas a funciones de producción de coeficientes fijos que no responden a cambios en los precios.
- Se asume que el trabajo y la canasta de capital-energía son sustitutos imperfectos. Este supuesto implica que estos dos factores se combinan mediante una forma funcional específica. Las cantidades de trabajo y capital-energía que necesita el productor son determinadas de acuerdo con las características de sus mercados.
- En el mercado laboral, se supone una imperfecta sustitución entre dos tipos de trabajo, calificado y no calificado. En el primer caso la demanda es igual a la oferta ajustándose vía precios, lo cual implica una plena utilización del empleo, sin posibilidades de que exista un incremento en el desempleo, mientras que en el caso del trabajo no calificado el salario es fijo y por ello se pueden dar cambios en el nivel de desempleo.

El Modelo de Equilibrio General Computable desarrollado por el Estudio Nacional se denomina MEG4C y tomó como base la Matriz de Contabilidad Social de 2005 construida por Corredor y Pardo (2008). Esta matriz consta de 57 sectores económicos, seis tipos diferentes de trabajo⁵ y los hogares que se encuentran divididos por decil de ingreso. En el MEG4C se agregaron los tipos de trabajo en calificado y no calificado, los hogares no se encuentran desagregados sino que se introduce un hogar representativo y los sectores se agregaron a quince de acuerdo a las necesidades del análisis requerido (ver cuadro 2).

CUADRO 2
AGREGACIÓN SECTORIAL DEL MEG4C

Acrónimo en el MEG4C	Sector en el MEG4C	Sector en cuentas nacionales
Agrop	Agropecuario	Café sin tostar no descafeinado Otros productos agrícolas
Lvst	Ganadería	Animales vivos y productos animales
Forest	Silvicultura	Productos de silvicultura y extracción de madera
Fish	Pesca	Pescado y otros productos de la pesca
Minener	Minero Energético	Hulla y lignito; turba Petróleo crudo, gas natural y minerales de uranio y torio
Mineral	Minerales metálicos y no metálicos	Minerales metálicos Otros minerales no metálicos

(continúa)

⁵ Los tipos de trabajo son: rurales no calificados, rurales calificados, urbanos informales no calificados, urbanos informales calificados, urbanos formales no calificados y urbanos formales calificados.

Cuadro 2 (conclusión)

Acrónimo en el MEG4C	Sector en el MEG4C	Sector en cuentas nacionales
Energe	Energía	Electricidad y gas de ciudad Productos de petróleo refinado; combustibles nucleares y productos de horno de coque
alimen	Alimentos Manufacturados	Carne y pescado Aceites, grasas animales y vegetales, borras y tortas Productos lácteos Productos de molinería y almidones y sus productos Azúcar Café transformado Cacao, chocolate y productos de confitería preparados con azúcar Otros productos alimenticios, n.c.p.
manuf	Industria	Bebidas Productos de tabaco Hilados e hilos; tejidos de fibras textiles incluso afelpados Artículos textiles (excepto prendas de vestir) Tejidos de punto o ganchillo; prendas de vestir Cuero y productos de cuero; calzado Productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables Pasta de papel, papel y cartón Impresos y artículos análogos Productos químicos básicos y elaborados (excepto productos de plástico y caucho) Productos de caucho y productos plásticos Vidrio y productos de vidrio y otros productos no metálicos n.c.p. Muebles; otros bienes transportables n.c.p. Desperdicios y desechos Metales comunes y productos metálicos elaborados excluyendo maquinaria y equipo
maquin	Maquinaria	Maquinaria para usos generales y especiales Otra maquinaria y suministro eléctrico Equipo de transporte
constru	Construcción	Trabajos de construcción y construcciones. Edificaciones Trabajos y obras de ingeniería civil
comerc	Comercio	Comercio Servicios de reparación de automotores y motocicletas, de artículos personales y domésticos Servicios de hotelería y restaurante
transp	Transporte	Servicios de transporte terrestre Servicios de transporte por agua Servicios de transporte aéreo Servicios de transporte complementarios y auxiliares
servic	Servicios	Agua, alcantarillado, eliminación de desperdicios y servicios de saneamiento Servicios de correos y telecomunicaciones Servicios de intermediación financiera y servicios conexos Servicios inmobiliarios y alquiler de vivienda Servicios a las empresas excepto servicios financieros e inmobiliarios Servicios domésticos Servicios de enseñanza de mercado Servicios sociales y de salud de mercado Servicios de asociaciones y esparcimiento y otros servicios de mercado Servicios de administración pública y otros serv. para la comunidad en general Servicios de enseñanza de no mercado Servicios sociales y de salud de no mercado Servicios de asociaciones y esparcimiento y otros servicios de no mercado

Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009a.

En muchas ocasiones las matrices de contabilidad social no cumplen con la condición de igualdad entre ingresos y gastos en cada actor institucional y por lo tanto, se requiere aplicar métodos de ajustes o balanceos. Para el caso del modelo del Estudio Nacional, (MEG4C) se utilizó el método conocido como de mínima entropía cruzada que consiste en estimar una nueva matriz que satisfaga las condiciones a manera de restricción mientras minimiza una cantidad que cuantifica la distancia en términos de información entre las dos matrices.

El MEC4C fue “calibrado” para reproducir o predecir los datos de un año base, utilizando tanto parámetros derivados de la matriz de contabilidad social como las elasticidades o parámetros que expresan la variación porcentual que una variable tiene como resultado de la variación porcentual de otra. Las elasticidades utilizadas para la calibración corresponden a la sustitución entre factores de producción, la elasticidad de sustitución entre bienes importados y bienes domésticos, la elasticidad de transformación de productos entre el mercado doméstico y el mercado externo y la elasticidad de demanda por exportaciones. Para el Estudio Nacional se utilizaron las elasticidades del modelo de Bourneaux y otros (1992) las cuales han sido también usadas por Bussolo y otros (1998).

B. Construcción del escenario tendencial o “*Business as Usual*”

En el capítulo II se presentó la metodología utilizada para elaborar las proyecciones de población y de PIB, la cual fue aplicada para obtener el comportamiento de dichas variables para Colombia siguiendo los lineamientos del IPCC.

El escenario tendencial o BAU (“*Business as Usual*”) que se utiliza en este capítulo para estimar los costos económicos del cambio climático se construyó también utilizando esta metodología. Se optó por trabajar con un escenario único que representara la proyección más plausible de las variables poblacionales y económicas, en donde la plausibilidad se definió con base en criterios históricos y gubernamentales (como se detalla a continuación), con la intención de obtener los costos económicos del cambio climático que más se ajustan a la visión nacional que se tiene actualmente de la posible evolución de Colombia durante el siglo XXI.

Para la simulación del escenario tendencial o BAU, el modelo utilizó tasas exógenas de crecimiento de la población, fuerza de trabajo y productividades del capital y del trabajo. En el cuadro 3 se presentan las variables exógenas y la fuente de información. La simulación del escenario tendencial se realizó en dos etapas. En la primera se realizó un ejercicio con un modelo de contabilidad del crecimiento para encontrar una trayectoria de crecimiento del PIB potencial consistente con una tasa de inversión y el crecimiento de la población. En la segunda etapa se tomó como referencia el crecimiento potencial del PIB y se calibraron las productividades de capital y trabajo consistentes para que el crecimiento del PIB del MEG4C replicara la trayectoria del PIB obtenida mediante la contabilidad del crecimiento.

El crecimiento del PIB potencial de referencia para el MEG4C utilizó un modelo de contabilidad del crecimiento basado en Blanchard y Jimeno (1999). Dicho modelo se alimenta con la información observada desde 1950 hasta 2008, el marco fiscal de mediano plazo y el crecimiento de la población en edad de trabajar (PET). La proyección del PIB consideró una tasa estructural de desempleo de 7,5%⁶, una participación del capital en el producto de 40% (este porcentaje ha sido el histórico en cuentas nacionales en los últimos veinte años), una tasa de depreciación del capital igual a 4,92%⁷ y una inversión fijada en 35% del PIB. Los resultados del modelo de proyección del PIB potencial para el escenario tendencial se muestran en el gráfico 13.

⁶ La elección de esta tasa se hizo de acuerdo a Julio 2001 y en base a Arango, Posada y Garcia (2007).

⁷ Fuente Departamento Nacional de Planeación (DNP).

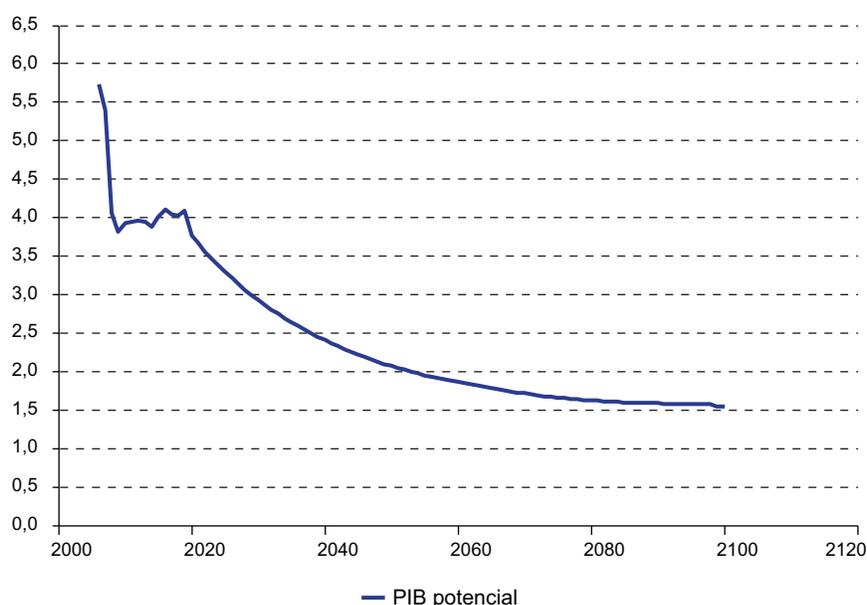
CUADRO 3
VARIABLES EXÓGENAS PARA LA CALIBRACIÓN DINÁMICA DEL MEG4C

Variable	Fuente de la variable
Tasas de crecimiento de la población	Proyección de la población
Productividad del trabajo	Calibración para la obtención del BAU
Productividad del capital	Calibración para la obtención del BAU
Déficit o superávit del gobierno	Tomada del Marco Fiscal de Mediano Plazo ^a (MFMP) hasta el 2019 y luego se asume constante hasta el 2100.
Gastos del gobierno	Tomada del Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) hasta el 2019 y luego se asume constante hasta el 2100.
Déficit o superávit en cuenta corriente	Tomada del Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) hasta el 2019 y luego se asume constante hasta el 2100.

Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009a.

^a Este marco fiscal es estimado conjuntamente por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y el Departamento Nacional de Planeación y contiene proyecciones de las principales variables macroeconómicas para el período 2009 - 2019.

GRÁFICO 13
CRECIMIENTO DEL PIB POTENCIAL 2005 – 2100 EN EL ESCENARIO TENDENCIAL
(En porcentaje)



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009a.

El ejercicio arroja como resultado un crecimiento promedio del PIB alrededor de 2,3% para el período de análisis, es decir, hasta el 2100. Aunque esta tasa de crecimiento parece baja, cabe resaltar que se proyectan tasas de crecimiento altas (alrededor del 4%) hasta el 2020 y una tendencia decreciente de la misma durante todos los años restantes del siglo XXI. Esto último se sustenta en la hipótesis de convergencia, que establece que los países tenderán a tener un comportamiento económico similar en el largo plazo. En el caso colombiano, se proyectó que a partir del 2020 el crecimiento del PIB irá disminuyendo, hasta alcanzar en 2100 tasas similares a las de los países desarrollados.

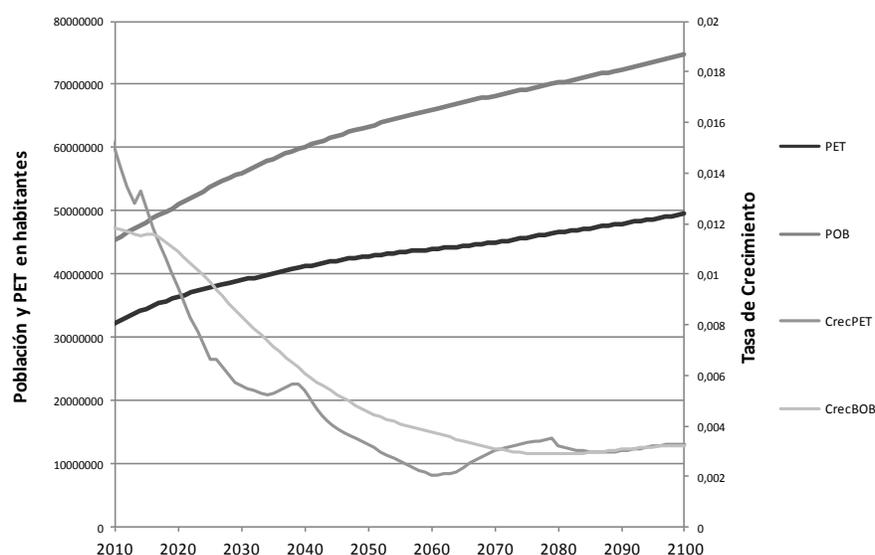
Por otra parte, el escenario tendencial requiere de una proyección de la población. Las estimaciones de población para Colombia se encuentran disponibles en el DANE hasta el año 2020, por lo que fue

necesario realizar un ejercicio de proyección de la población hasta 2100. Para lo anterior, el presente estudio utilizó un modelo de simulación sencillo en donde se parte de datos de fecundidad y mortalidad para estimar la población y su composición etaria hasta 2100.

Los resultados del modelo indican que la población pasa de crecer 2,0% en el 2005 a 0,2% en el 2100. Lo anterior implica una estimación de la población de cerca de 75.000.000 de personas para el 2100 frente a 45.000.000 en la actualidad.

En el gráfico 14, también se muestra el comportamiento de la población en edad de trabajar (PET). Esta variable será la que determinará el factor trabajo en el modelo de equilibrio general descrito anteriormente. La PET se calcula como la población entre 12 y 65 años⁸. El comportamiento irregular de la tasa de crecimiento de la PET obedece a irregularidades de la pirámide de población actual que se proyectan a través de generaciones y que hacen que la población por edad sea desigual a lo largo del tiempo.

GRÁFICO 14
POBLACIÓN Y POBLACIÓN EN EDAD DE TRABAJAR HASTA EL AÑO 2100



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009a.

C. La evaluación del impacto del cambio climático

El ejercicio de evaluación del impacto del cambio climático realizado por el Estudio Nacional, consiste en incorporar los choques provenientes del cambio climático en el modelo de equilibrio general MEG4C. Una vez construido el escenario tendencial se procedió a estimar choques por el cambio climático sobre los sectores y construir un escenario que incorporara dichos choques. Los costos del cambio climático se encuentran representados por la diferencia porcentual entre los dos escenarios (Tendencial – BAU y con choque de cambio climático). Este ejercicio sigue la metodología usada en el reporte del Banco Mundial sobre Adaptación⁹.

⁸ En Colombia, la PET la constituye la población desde los 12 años para el área urbana y desde los 10 años en el área rural. La razón de tomarla como la población hasta 65 años obedece, por una parte, a que es un valor cercano a la edad de jubilación y, por otra parte, a que las estimaciones de mortalidad a partir de esta edad no presentan un buen ajuste.

⁹ <http://siteresources.worldbank.org/INTCC/Resources/EACCFinalRelease.pdf>.

En lo que resta de esta sección se presenta la metodología utilizada para obtener los cambios en el rendimiento de los sectores producto del cambio climático y la forma cómo estos cambios son incorporados en el MEGC4 por medio de la alteración de ciertos parámetros del mismo.

Para obtener la variación en el rendimiento de los sectores se estimó una serie de regresiones que establecen una relación entre el sector y las variables climáticas (ver cuadro 4). Los datos de proyecciones anuales de temperatura y precipitación fueron suministrados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para el escenario A1B del IPCC (2000). Este escenario es el más “optimista de los pesimistas” y asume un desarrollo económico haciendo uso balanceado de los distintos tipos de energía.

Para la incorporación del cambio climático se impactaron cuatro de los quince sectores del modelo, estos son: agricultura, ganadería, pesca y silvicultura. Para los dos primeros sectores (agricultura y ganadería) se estimaron funciones a partir de regresiones realizadas utilizando datos colombianos de la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario, Agronet¹⁰.

CUADRO 4
REGRESIONES SECTORIALES UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO
DEL CAMBIO EN LOS RENDIMIENTOS

Sector	Regresión
Agrícola	$\Delta Rend = -0,0323 \cdot \Delta Prec - 0,016 \cdot (\Delta Temp)^2$
Pecuario	$\Delta Rend = 0,207 \cdot \Delta Prec - 0,502 \cdot (\Delta Prec)$
Silvícola	$\Delta Rend = -0,078 \cdot \Delta Prec + 0,0055 \cdot \Delta Temp$
Pesca	$\Delta Rend = -0,007 \cdot (\Delta NM)^2$

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Hace referencia al cambio porcentual en el rendimiento del sector, al cambio porcentual en la temperatura promedio, al cambio porcentual en el nivel de las precipitaciones y al cambio porcentual en el nivel del mar.

De manera particular, en el caso de ganadería se construyó un índice por departamento de productividad para leche (litros/número de vacas) y para carne (Kg/número de vacas), se ponderaron estas productividades y se obtuvo el cambio de productividad ganadera de un año a otro para cada uno de los departamentos. Posteriormente, se estimó una regresión del cambio en la productividad, contra el cambio de temperatura, cambio porcentual en la precipitación y estas variables al cuadrado.

De otra parte, en el caso de la agricultura, se seleccionaron cinco cultivos¹¹: i) maíz tradicional y arroz de riego, que representan los dos principales cultivos transitorios, ii) palma de aceite y caña de azúcar, dos de los cuatro cultivos permanentes más importantes y iii) banano, el segundo más importante producto de exportación. No se incluyó café en el ejercicio debido a la falta de disponibilidad de datos. Se calculó la producción por hectárea en cada departamento como *proxy* de productividad y se estimó una regresión similar a la de ganadería.

Finalmente, para los sectores de silvicultura y pesca se usaron las fórmulas del estudio (Jorgenson y otros, 2004). Estas fórmulas cuantifican cambios en la productividad dados cambios en temperatura, precipitación y nivel del mar. En el estudio mencionado se presentan fórmulas optimistas y pesimistas de los impactos obtenidas de otros trabajos, para las simulaciones se usó un promedio de los impactos optimistas y pesimistas.

El gráfico 15 presenta los cambios porcentuales en los rendimientos de los cuatro sectores impactados. Se observa que en promedio durante todo el periodo de análisis, el sector más impactado

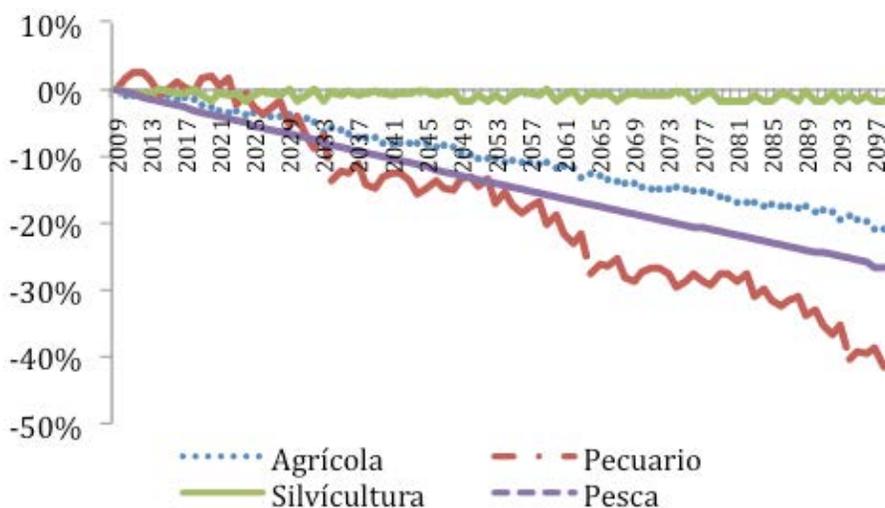
¹⁰ Para mayor información véase el portal www.agronet.gov.co.

¹¹ El criterio para escoger los cultivos fue el valor de la producción del cultivo sobre el total de la producción del país.

es el pecuario (18,11%) seguido del sector de pesca (14%), el sector agrícola (10,39%) y el sector de silvicultura (-0,69%). En el 2100 el sector pecuario ha reducido su rendimiento en un 40,35%, el sector agrícola en un 20,88%, el sector de pesca en un 26,64% y el sector de silvicultura en un 1,155%.

GRÁFICO 15
CAMBIOS PORCENTUALES EN LOS RENDIMIENTOS DE LOS
SECTORES DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia basada en Jorgenson y otros, (2004).

Una vez se han estimado los cambios en los rendimientos de los 4 sectores mencionados, es necesario incorporarlos adecuadamente en el MEGC4. Para ello se alteran los coeficientes técnicos del nivel más alto de la función de producción ($a_{i,j}$ y $akel_j$), los cuales determinan cuánto se demanda de bienes intermedios ($Xap_{i,j}$) y del paquete Capital-Energía-Trabajo (KEL_j) por unidad de producto (Xp_j).

La ecuación (3) presenta la relación existente entre los coeficientes técnicos del escenario base ($a_{i,j}^{EB}$, $akel_j^{EB}$) y los coeficientes técnicos del escenario con CC ($a_{i,j}^{CC}$, $akel_j^{CC}$). Se observa que un cambio porcentual negativo en el rendimiento del sector j ($\Delta Rend_j < 0$) genera un incremento en los coeficientes técnicos ($a_{i,j}^{CC} > a_{i,j}^{EB}$, $akel_j^{CC} > akel_j^{EB}$). Analizando ahora la ecuación (2), se concluye que si la demanda de bienes intermedios y del paquete KEL no cambia, la producción se verá reducida, i.e. con los mismos insumos productivos que en el escenario base, la producción en el escenario con CC experimentará una reducción.

$$Xp_j = \min \left\{ \frac{Xap_{1,j}}{a_{1,j}}, \frac{Xap_{2,j}}{a_{2,j}}, \dots, \frac{Xap_{n,j}}{a_{n,j}}, \frac{KEL_j}{akel_j} \right\} \quad (1)^{12}$$

$$Xp_j = \frac{Xap_{i,j}}{a_{i,j}}, \quad Xp_j = \frac{KEL_j}{akel_j} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$a_{i,j}^{CC} = \frac{a_{i,j}^{EB}}{1 + \Delta Rend_j}, \quad akel_j^{CC} = \frac{akel_j^{EB}}{1 + \Delta Rend_j} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

¹² Esta forma funcional es conocida en la literatura como función de producción tipo Leontieff y especifica que la relación producto a consumo de bienes intermedios, producto a consumo de paquete KEL es constante, i.e. para cada unidad adicional de producto siempre se va necesitar aumentar en la misma proporción el consumo de bienes intermedios y del paquete KEL.

D. Aproximación metodológica para estimar los costos económicos del cambio climático en los ecosistemas

El Estudio Nacional también incluyó la estimación de los costos económicos del cambio climático en los ecosistemas. Con el fin de evaluar los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas se usaron Modelos de Nicho Ecológico (MNE). Estos modelos se basan en la distribución geográfica conocida y en las condiciones bioclimáticas del área de interés. Los MNE fueron desarrollados para evaluar la distribución puntual de una especie particular, pero también pueden ser usados para modelar ensamblajes completos de especies. Los MNE fueron usados para generar una hipótesis de la distribución actual de los ecosistemas y poder concluir sobre su habilidad de persistencia o extinción en los sitios actuales bajo escenarios de cambio climático. Los cambios en los rangos de distribución tendrán implicaciones ecológicas sobre el funcionamiento de los ecosistemas y económicas sobre la cantidad y la calidad de los bienes y servicios ambientales que se proveen.

Para generar los modelos de nicho, el Estudio Nacional utilizó la herramienta informática denominada MaxEnt¹³ (*Maximun Entropy*), aplicación desarrollada por S.J. Phillips, R.P. Anderson, y R.E. Schapire para estimar la distribución espacial de una especie. El programa parte de una distribución espacial parcial conocida y estima una nueva distribución bajo el criterio de máxima entropía donde se hace una predicción que añade la menor información posible a la ya conocida. En consecuencia, se utilizó la herramienta para hacer predicciones de distribución potencial de los principales ecosistemas del país con escenarios ambientales cambiantes. Los ecosistemas evaluados fueron: Bosque Andino, Bosque Húmedo Tropical, Bosque Seco, Páramo y Sabanas los cuales representan aproximadamente un 70% del total del territorio nacional.

Los MNE requieren de dos insumos principales: una distribución de puntos conocidos de ocurrencia e información predictora de dicha ocurrencia (en este caso únicamente variables ambientales). A continuación se describen las variables y las fuentes de información que fueron usadas para estimar los modelos que evalúan los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas colombianos:

- La información de distribución de los ecosistemas fue tomada del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (IDEAM y otros, 2007). Este mapa se encuentra a escala 1:500.000 y permite mediante una herramienta de análisis de información geográfica extraer la información relacionada con la distribución los ecosistemas analizados¹⁴.
- La información bioclimática actual para Colombia fue extraída a partir de la base de datos WorldClim, disponible en (<http://www.worldclim.org/download.htm>). Las capas climáticas aquí depositadas representan promedios de información climática registrada entre 1960 y 2000. La información de precipitación, temperatura media y temperaturas máximas y mínimas proviene de 47.554, 24.542 y 14.835 estaciones respectivamente (Hijmans y otros, 2005). La información está disponible hasta una resolución ~1 Km² que corresponde a la resolución espacial usada en el Estudio.

¹³ La herramienta está disponible gratuitamente para fines investigativos en <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>.

¹⁴ Cabe anotar que las categorías de ecosistemas que se analizaron no existen como tal en el mapa de ecosistemas de Colombia pero sí corresponden a la suma de categorías con características similares. Los ecosistemas fueron agrupados de la siguiente manera para obtener la delimitación: Bosque Seco = Todo el gran bioma de Bosque Seco Tropical (ID GBioma=2), Bosque Andino = Todo el Orobioma medio de los Andes (ID Bioma=20), Páramo = Todo el Orobioma alto de los Andes (ID Bioma=21), Bosque Húmedo = Litobioma de la Amazonía y Orinoquía (ID 11) + Zonobiomas Húmedos Tropicales de la Amazonía y Orinoquía (ID 8) + Zonobiomas Húmedos Tropicales del Pacífico y Atrato (ID 12)+ Zonobiomas Húmedos Tropicales del Magdalena y Caribe (ID 15) + Zonobiomas Húmedos Tropicales del Catatumbo (ID 17) y finalmente las Sabanas = Peinobioma de la Amazonía y Orinoquía (ID 10) + Helobioma de la Amazonía y Orinoquía (ID 9).

La información bioclimática utilizada consta de 19 capas bioclimáticas como se muestra a continuación:

- Temperatura media anual. (°C)
- Media del promedio mensual de temperatura máxima – temperatura mínima. (°C)
- Isotermalidad. Índice de variabilidad de la temperatura. $(\text{Capa2}/\text{Capa7}) * 100$ (Razón del rango diario promedio con respecto al rango anual).
- Estacionalidad de la temperatura. (Desviación estándar * 100)
- Temperatura máxima del mes más cálido. (°C)
- Temperatura máxima del mes más frío. (°C)
- Rango de temperatura anual (°C). (Temp. Máx. del mes más cálido – Temp. Mín. del mes más frío).
- Temperatura promedio del trimestre más lluvioso. (°C)
- Temperatura promedio del trimestre más seco. (°C)
- Temperatura promedio del trimestre más cálido. (°C)
- Temperatura promedio del trimestre más frío. (°C)
- Precipitación anual. (mm)
- Precipitación del mes más lluvioso. (mm)
- Precipitación del mes más seco. (mm)
- Estacionalidad de la precipitación. (Coeficiente de variación)
- Precipitación del trimestre más lluvioso. (mm)
- Precipitación del trimestre más seco. (mm)
- Precipitación del trimestre más cálido. (mm)
- Precipitación del trimestre más frío. (mm)

Usando los puntos de distribución para cada uno de los ecosistemas y los datos de información climática, se corrieron modelos de distribución actual en el programa MaxEnt v 3.3.1. Los modelos en MaxEnt se corrieron con los parámetros predeterminados con un set de entrenamiento del 75% de los datos y un set de prueba de 25%. Estos porcentajes se utilizan para formar un grupo de puntos caracterizados por la seguridad de la ocurrencia (en este caso el 25%), este grupo de puntos es definido como un set para la validación del modelo predicho por el resto de las ocurrencias (en este caso el 75%). A medida que aumenta la certeza en la ocurrencia, se puede expandir el porcentaje de prueba para hacer más robusto el modelo. El área ocupada por cada ecosistema en los modelos actual y futuro se calculó usando el programa ArcView v3.2 de ESRI, proyectando los mapas de distribución potencial actual y futura a coordenadas cilíndricas equivalentes al área.

1. Construcción de escenarios

Los datos climáticos futuros (2050 y 2080) para los escenarios A2 y B2 del IPCC (2000) con los cuales se han realizado las proyecciones que se presentan en este informe fueron proveídos por el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Esta entidad descargó los resultados de 18 Modelos de Circulación Global (MCG) de la base de datos del IPCC, disponible en <http://www.ipcc-data.org> y realizó un proceso conocido como *downscaling* (Ramirez y Jarvis, 2008). Dicho proceso consiste en calcular las anomalías

(diferencias entre el futuro y la línea base) para cada celda MCG (de aproximadamente 100-300 km) e interpolar hasta 30 arco-segundos usando el mismo algoritmo *spline* que usaron los creadores de WorldClim. Esta interpolación luego es sumada a la línea base de WorldClim para obtener una superficie de clima futuro de alta resolución pero con las variaciones descritas por los MCG. Aunque el método de *downscaling* permite dar una aproximación de las condiciones climáticas a una mayor resolución, debe ser verificado en áreas donde las condiciones climáticas cambian a escalas espaciales pequeñas.

En consecuencia, el escenario base analizado corresponde a la evaluación del modelo de nicho ecológico con las capas bioclimáticas alimentadas con los datos promedio del periodo 1960 y 2000. Por otra parte, el escenario con cambio climático corresponde a la evaluación del modelo de nicho ecológico con las capas bioclimáticas alimentadas con los datos climáticos futuros a 2050 y 2080 para los escenarios A2 y B2 del IPCC descrito anteriormente.

2. La valuación del impacto del cambio climático

Con el fin de valorar económicamente los ecosistemas mencionados, se desarrolló un programa computacional en VisualBasic con su interfaz en Excel que permite calcular el valor de cada ecosistema. La herramienta usa la metodología empleada por Yaozhong y otros (2005) la cual está basada en el concepto de Capital Natural o Ecológico (Constanza y Daly, 1992) y (Pearce y Turner, 1990).

La metodología (Yaozhong y otros, 2005) calcula el valor de cada ecosistema en función del valor de los servicios ambientales que provee, el área y la calidad del ecosistema. Los valores de los servicios ambientales fueron tomados del estudio de Constanza y otros (1997) y transformados a dólares del 2005. En el estudio citado, se valoraron los 17 principales servicios ambientales proveídos por 16 biomas a nivel mundial. Dentro de los servicios ambientales que se usaron en este estudio se encuentran: Regulación de gases, Regulación del clima, Regulación de disturbios, Formación de suelos, Ciclado de nutrientes, Oferta hídrica, Regulación hídrica, Control de la erosión y Recreación. En el cuadro 5 se muestra el valor de cada servicio ambiental utilizado para la valoración de los impactos en los ecosistemas:

CUADRO 5
VALOR DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES
(En dólares de 2005/Km²*Año)

	Regulación				Oferta hídrica	Control de la erosión	Formación suelo	Ciclo nutriente	Recreación	Total
	Gases	Clima	Disturbios	Hídrica						
Páramo	137	-	3 620	33	3 800	15	1	2	491	8 099
Bosque seco	-	161	2	8	8	219	3	307	221	929
Bosque andino	-	482	5	25	25	657	10	422	662	2 288
Bosque húmedo	54	166	-	-	163	-	5	-	122	510
Sabanas	7	1	-	3	15	29	3	-	77	134

Fuente: Adaptado de Constanza y Daly (1992), *Natural Capital and Sustainable Development*.

El área utilizada para la valoración proviene de los resultados del modelo de nicho descrito anteriormente y evaluado bajo el escenario base y el escenario con cambio climático. La calidad del ecosistema fue calculada como una función que depende de los parámetros de la productividad primaria neta (PPN) y el porcentaje de cobertura vegetal.

La productividad primaria neta del ecosistema se evaluó para cada pixel (~1 km²). Para este ejercicio se usaron los valores de PPN propuestos en los estudios de Gómez y Gallopin (1991) y Melillo, y otros (1999) en donde se plantean intervalos de productividad para determinados ecosistemas y predicen

cómo sería la variación de esta productividad al presentarse cambios en temperaturas y precipitaciones. El porcentaje de cobertura fue estimado mediante los valores de NDVI (*Non-difference vegetation index*) facilitados por el CIAT y que permiten establecer el porcentaje de cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales. Se obtuvo el valor promedio de NDVI para los ecosistemas seleccionados durante nueve años cada 16 días entre el 2000 y el 2009.

Este ejercicio de valoración se calculó para el escenario base y el escenario con cambio climático (A2 y B2) utilizando los resultados de los MNE generados en cada uno de los escenarios y en cada ventana de tiempo (2050 y 2080). La diferencia entre los dos escenarios corresponde al valor económico del impacto del cambio climático. Es importante mencionar que esta valoración solo tiene en cuenta la cantidad y calidad de los servicios ambientales prestados por el ecosistema y que no representa un enfoque de mercado en donde el valor aumentaría en la medida en que se disminuye la oferta.

IV. Impactos económicos de la vulnerabilidad al cambio climático

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por el Estudio Nacional en la estimación de los impactos económicos de la vulnerabilidad al cambio climático tanto en los sistemas socioeconómicos como en los ecosistemas. Asimismo, se recopilan los resultados obtenidos por otros estudios relacionados con impactos económicos de la vulnerabilidad al cambio climático en áreas como la salud, los recursos costeros y el aumento del nivel del mar.

Por último, se presentan los resultados agregados para obtener una primera aproximación del costo económico total del impacto del cambio climático en dichos sectores.

A. Impactos abordados por el Estudio Nacional

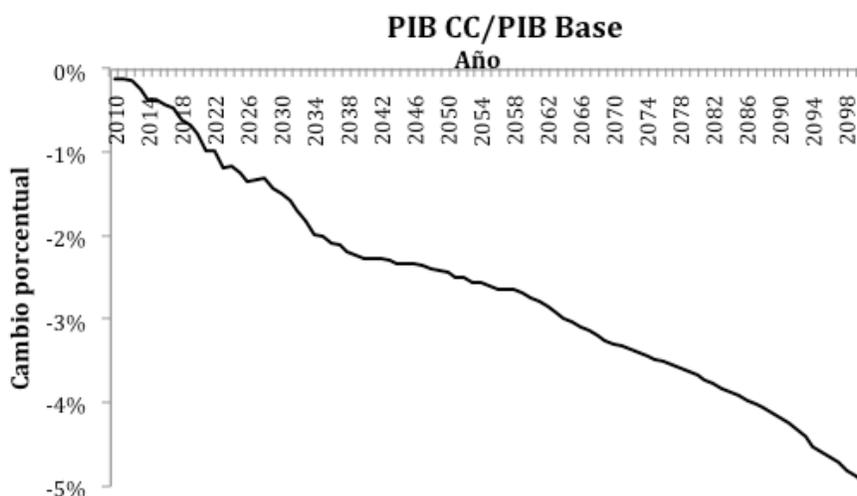
1. Impactos agropecuarios

A continuación se presentan los resultados de los impactos económicos del cambio climático estimados utilizando el modelo de equilibrio general MEG4C (el escenario climático considerado fue el A1B, de acuerdo a los datos proporcionados por CIAT). Como definido en el capítulo III, los sectores impactados son el agrícola, el pecuario, el silvícola y el de pesca, los cuales por facilidad agruparemos bajo el nombre de sector agropecuario.

Como se describió en el capítulo metodológico, los impactos fueron calculados mediante la diferencia entre las proyecciones del PIB bajo el escenario tendencial y bajo el escenario con el choque de cambio climático. El gráfico 16 muestra la relación porcentual entre el cambio del PIB con cambio climático y el PIB del escenario tendencial.

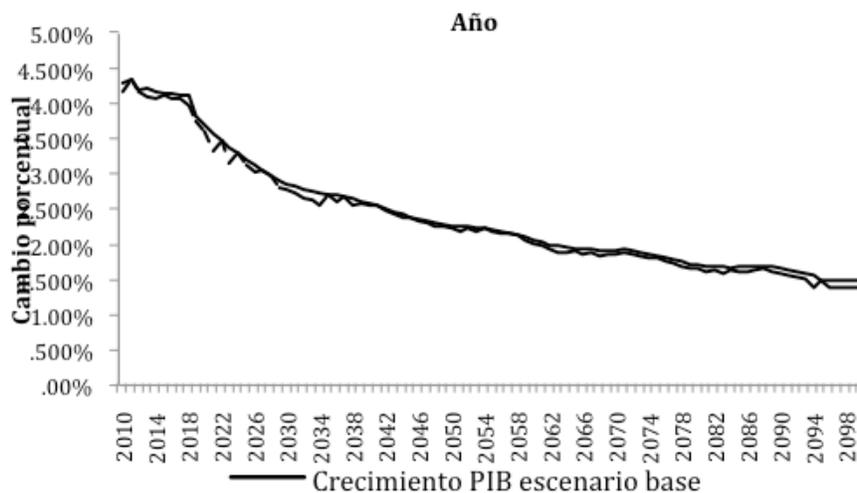
Como se observa en el gráfico 16, la diferencia porcentual del PIB potencial con cambio climático con respecto al escenario tendencial es en promedio 2,6% inferior durante el período de simulación. Lo anterior implica una disminución promedio de 0,057 puntos porcentuales del crecimiento del PIB como se muestra en el gráfico 17.

GRÁFICO 16
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR AGROPECUARIO
(Como porcentaje en el PIB Nacional)



Fuente: Departamento Nacional de Planeación, (DNP) 2009a.

GRÁFICO 17
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR AGROPECUARIO
EN EL CRECIMIENTO DEL PIB NACIONAL
(En cambio porcentual)



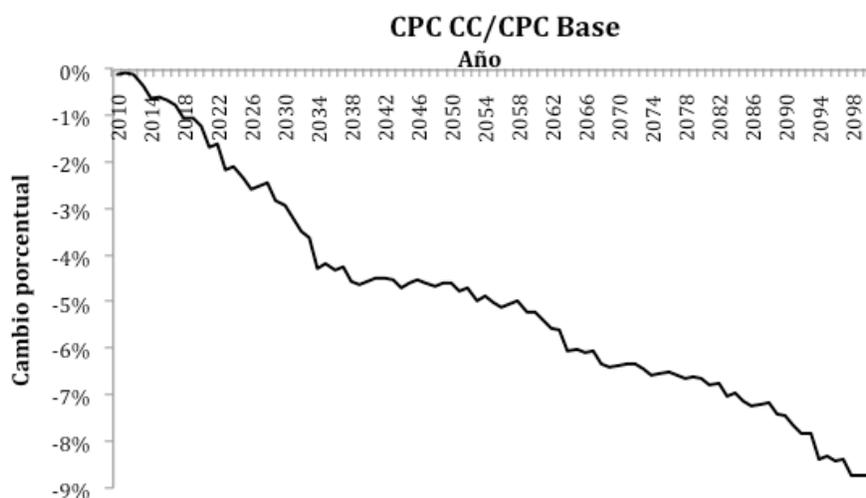
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP),2009a.

Es así como siendo el crecimiento potencial del PIB en el escenario tendencial, en promedio, igual a 2,421%, el efecto del CC llevaría a un crecimiento promedio del PIB potencial de 2,36%.

Aunque el modelo no simula la destrucción de capital por fenómenos climáticos, el hecho de que existan pérdidas en la productividad del sector agrícola afecta las decisiones de inversión del sector. Esto es, la menor rentabilidad del sector agrícola en el escenario de cambio climático con respecto al BAU conlleva a que las decisiones de inversión en capital nuevo sean menores para el siguiente período por lo que el efecto se va acumulando a lo largo del tiempo.

En términos de consumo per cápita (Cpc) los resultados son más pronunciados. Como se presenta en el gráfico 18, en promedio hay una pérdida de 4,88% del Cpc anualmente, ahora bien, esta pérdida llega del 8,69% al final del periodo de análisis.

GRÁFICO 18
CAMBIO PORCENTUAL ENTRE EL ESCENARIO TENDENCIAL Y EL CHOQUE
DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL CONSUMO PER CÁPITA



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP) 2009a.

El Equivalente de Consumo Equilibrado (ECE) es la manera como el Reporte Stern (Stern 2007) presenta los resultados de impactos de CC sobre el Cpc. Esta metodología consiste en traer a valor presente el cambio en Cpc si se diera un crecimiento estable desde hoy hasta el infinito. Este valor depende de la tasa de descuento que se elija para comparar beneficios futuros con presentes.

CUADRO 6
EQUIVALENTE DE CONSUMO EQUILIBRADO PARA EL CHOQUE DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En porcentaje)

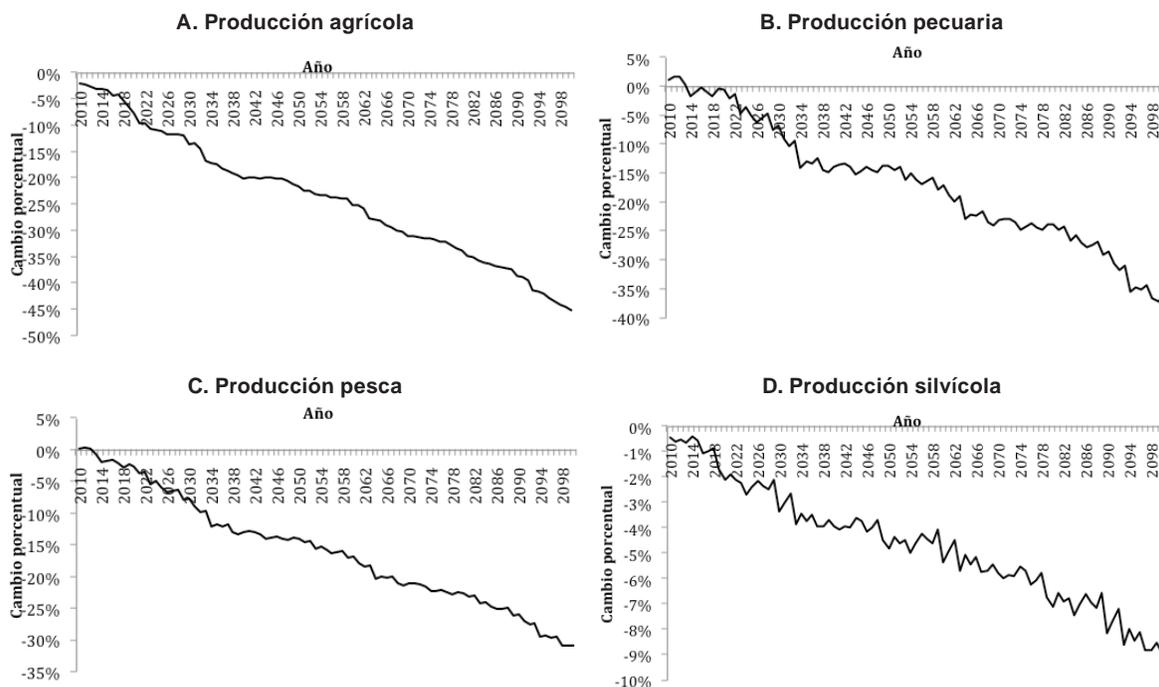
Tasa de descuento	2	4	6	8	10
ECE	-7,41	-3,01	-1,77	-1,13	-0,80

Fuente: Elaboración propia.

El valor del ECE depende del peso que se le dé a las generaciones futuras: entre más alta sea la tasa más importancia se le está dando al consumo presente. Como los impactos de cambio climático son más drásticos a final de siglo, para tasas más bajas se tienen valores más altos del ECE. Con una tasa de 2% se pierde en consumo de hoy más del 7,4%; por el contrario, con una tasa de 10% la reducción es de 0,8%.

En el gráfico 19 se muestra el impacto desagregado por los subsectores analizados: agricultura, ganadería, pesca y silvicultura, utilizando también la relación entre el cambio porcentual del PIB del subsector, con cambio climático y con el escenario tendencial.

GRÁFICO 19
IMPACTO ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA COMO PORCENTAJE EN EL PIB DE CADA SUB-SECTOR



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009a.

Como se muestra en el gráfico 19, en términos de producción, los subsectores agrícola, ganadero, pesca y silvícola pierden en promedio 23,74%, 16,88%, 15,81% y 4,64% respectivamente con respecto a su producción en el escenario tendencial. El subsector más impactado es el de agricultura en donde el impacto se incrementa hasta perder 45% al final del periodo de análisis.

Es importante tener en cuenta que este modelo captura costos de NO adaptación, es decir los costos que sufriría la economía si no se invirtiera en cambio de variedades, sistemas de riego, etc.

Una de las ventajas de utilizar un modelo de equilibrio general, es que se puede evaluar los impactos en otros sectores del impacto del cambio climático en el sector agropecuario. Particularmente el Estudio Nacional evaluó el impacto cruzado en el sector de alimentos manufacturados, en donde la pérdida es de 16,15% de la producción con respecto al escenario tendencial.

Por último, otro impacto cruzado derivado por el modelo es el aumento en la producción del sector minero debido a la disminución en rentabilidad de los sectores primarios y en consecuencia una mayor inversión con respecto al escenario tendencial. Este resultado debe tomarse con cautela ya que el modelo no incluye la disponibilidad de reservas para que efectivamente se pueda dar esta reasignación de recursos ni tampoco los efectos directos del cambio climático en estos sectores.

El cuadro 7 resume los efectos sobre los otros sectores del impacto de cambio climático en el sector agropecuario.

CUADRO 7
PÉRDIDAS O GANANCIAS POR SECTOR DEL IMPACTO DE
CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR AGROPECUARIO
(En porcentaje)

Sector	Pérdida/ganancia porcentual promedio
Minero energético	3,5
Servicios	-1,92
Transporte	-2,08
Construcción	-2,34
Mineral	-2,52
Maquinaria	-2,74
Energía	-3,09
Agua y residuos	-3,16
Manufacturas	-3,53
Silvicultura	-4,64
Comercio	-4,80
Pesca	-15,81
Alimentos manufacturados	-16,15
Pecuario	-16,88
Agricultura	-23,74

Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009a.

Como se mencionó anteriormente, los sectores con mayores pérdidas son la pesca, la agricultura, los alimentos y la ganadería; mientras que el sector que incrementaría su producción es el minero-energético. En el agregado, se da una pérdida promedio en el PIB nacional de 2,6% como se mostró en el gráfico 16.

Es importante mencionar que el modelo utilizado para realizar el ejercicio descrito tiene varias limitaciones en sus supuestos por lo que no debe tomarse como un producto final sino como una motivación para obtener más precisión en las estimaciones de los costos del CC. Es importante tener en cuenta que dos de las funciones de pérdidas utilizadas provienen de un estudio para Estados Unidos, y factores como tipos de tecnología y climas regidos por estaciones pueden hacer que estas funciones no sean las más apropiadas para el caso colombiano. El modelo no incluye destrucción de capital por desastres naturales, ni impactos sobre salud y mortalidad. Otra debilidad del modelo es que se trata a Colombia como una sola región, sin tener en cuenta que la topografía del país es muy diversa. Por ejemplo, se espera que las lluvias aumenten en la Región Andina pero disminuyan en la Costa Caribe. De igual manera, el nivel del mar varía según el Océano, se estima que serán 4-5 milímetros/año para la costa Pacífica colombiana y 1-2 milímetros para la costa Caribe colombiana. En el modelo tampoco se han realizado simulaciones de adaptación y/o mitigación.

2. Ecosistemas

En esta sección se presentan los resultados de la valoración del impacto de cambio climático sobre los ecosistemas en Colombia de acuerdo con la metodología presentada en el capítulo III.D.

El impacto fue el evaluado para los ecosistemas de Bosque Andino, Bosque Húmedo, Bosque Seco, Páramo y Sabanas. Después de recategorizar el Mapa de Ecosistemas (IDEAM y otros, 2007) se obtuvo una representatividad del 69,59% del área total del territorio colombiano (1.141.748 Km²) como se muestra en el cuadro 8.

CUADRO 8
ECOSISTEMAS ESTUDIADOS CON SU RESPECTIVO PORCENTAJE
DE COBERTURA DEL TERRITORIO NACIONAL
(En porcentaje)

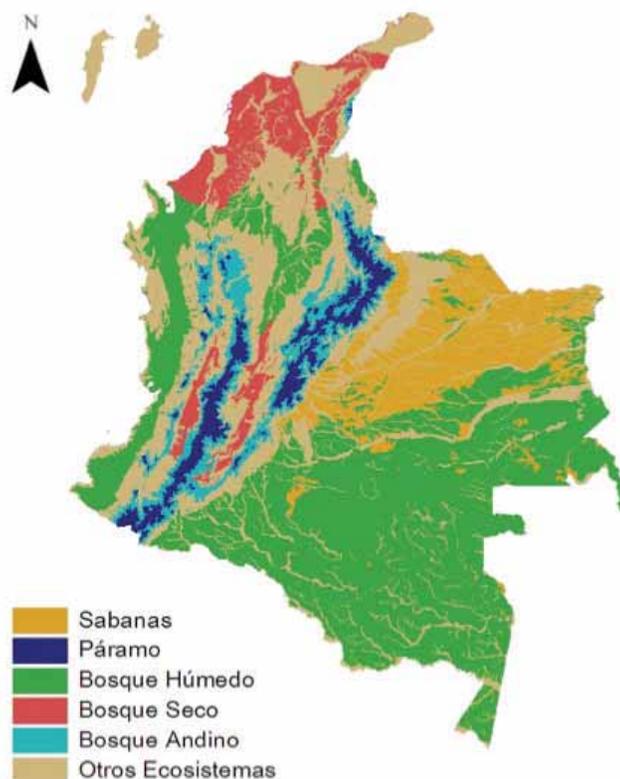
Ecosistema	Cobertura
Bosque Andino	6,97
Bosque Húmedo	34,69
Bosque Seco	8,84
Páramo	3,38
Sabanas	15,70
Total	69,59

Fuente: Departamento Nacional de Planeación, (DNP), 2009b.

En el gráfico 20 se observa la distribución espacial de cada uno de los ecosistemas evaluados.

A partir de esta reclasificación se obtuvo la información georreferenciada de ocurrencia para los ecosistemas estudiados. Los cuadros 9 y 10 muestran los cambios de precipitación y temperatura entre los datos climáticos de la línea base extraída de WorldClim y las proyecciones del clima a 2050 y 2080 en los escenarios A2 y B2 del IPCC (2000) según el MCG aterrizado para Colombia por el CIAT.

GRÁFICO 20
DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LOS CINCO ECOSISTEMAS ESTUDIADOS



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

CUADRO 9
POSIBLES CAMBIOS DE TEMPERATURA PARA CADA ECOSISTEMA SEGÚN EL MODELO
DE CIRCULACIÓN GLOBAL ADAPTADO PARA COLOMBIA EN EL ESCENARIO A2 Y B2
(En grados centígrados)

Ecosistema	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		Cambio en temperatura a 2050	Cambio en temperatura a 2080	Cambio en temperatura a 2050	Cambio en temperatura a 2080
Bosque andino	15,6	+ 1,6	+ 3,1	+ 1,4	+ 2,0
Bosque húmedo	26,4	+ 1,6	+ 2,9	+ 1,4	+ 2,0
Bosque seco	26,9	+ 1,7	+ 3,6	+ 1,7	+ 2,3
Páramo	9,4	+ 1,6	+ 3,0	+ 1,3	+ 1,9
Sabanas	26,9	+ 1,5	+ 2,8	+ 1,2	+ 1,8

Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

CUADRO 10
POSIBLES CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN PARA CADA ECOSISTEMA SEGÚN EL MODELO
DE CIRCULACIÓN GLOBAL ADAPTADO PARA COLOMBIA EN EL ESCENARIO A2 Y B2
(En milímetros)

Ecosistema	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		Cambio en precipitación a 2050	Cambio en precipitación a 2080	Cambio en precipitación a 2050	Cambio en precipitación a 2080
Bosque andino	1901,7	- 184,3	- 363,1	- 363,1	- 200,3
Bosque húmedo	3162,5	- 353,7	- 406,1	- 406,1	- 415,8
Bosque seco	1392,0	- 106,7	- 258,6	- 258,6	- 187,6
Páramo	1639,6	- 175,5	- 308,8	- 308,8	- 171,8
Sabanas	2534,5	- 355,1	- 463,2	- 463,2	- 397,6

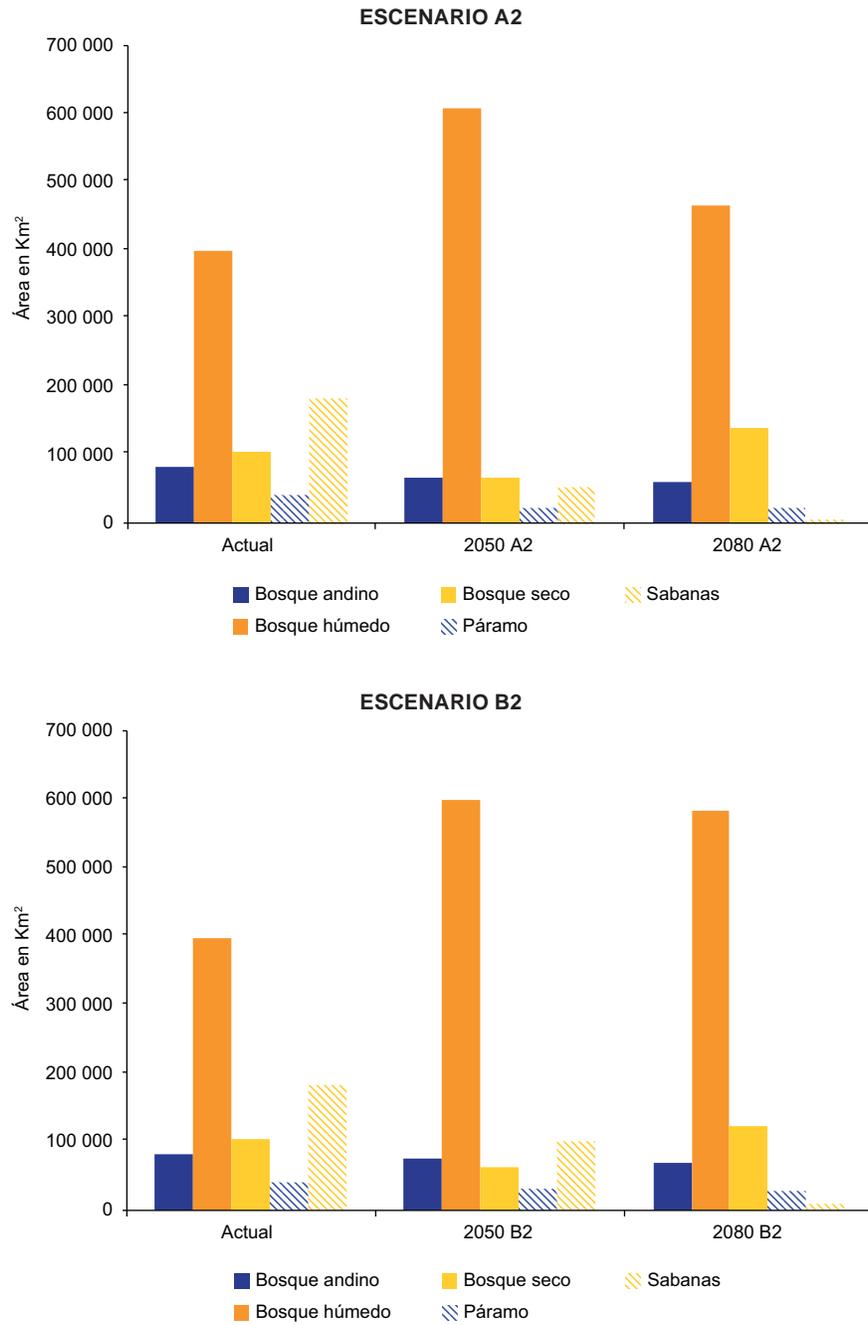
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

De acuerdo con los cuadros anteriores se aprecia una tendencia al aumento de la temperatura y una disminución en la precipitación para todos los ecosistemas en los dos escenarios.

A partir de los datos de ocurrencia y la información climática, se proyectó con el Modelo de Nicho Ecológico la distribución potencial de cada ecosistema para 2050 y 2080 tanto en condiciones climáticas actuales como en escenarios de cambio climático (A2 y B2). Los impactos fueron medidos a través del cambio en el área de cada ecosistema como se muestra en el gráfico 21.

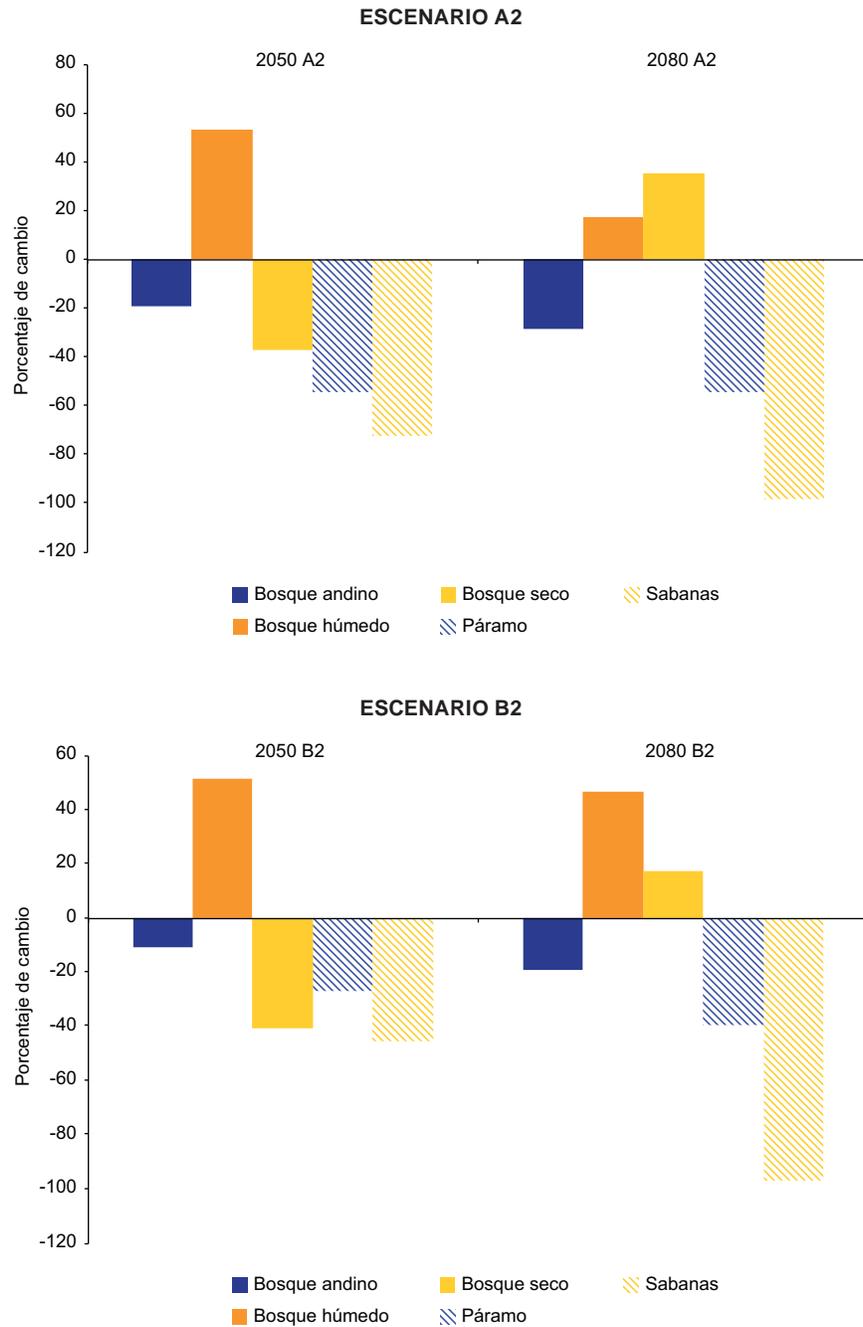
De acuerdo a los resultados obtenidos por los MNE, se observa que en general los ecosistemas muestran una tendencia a la reducción en sus áreas de distribución mostrando un impacto menos severo en escenarios optimistas como el B2. Lo anterior implica que los cambios en variables ambientales pueden tener efectos drásticos sobre el funcionamiento ecológico de los sistemas y por lo tanto un impacto directo sobre la oferta de bienes y servicios ambientales. El gráfico 22 muestra los cambios porcentuales del área de los ecosistemas por el cambio climático.

GRÁFICO 21
CAMBIO EN EL ÁREA DE COBERTURA DE CADA ECOSISTEMA PARA CADA ESCENARIO (A2 Y B2)



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

GRÁFICO 22
CAMBIO PORCENTUAL EN COBERTURAS DE ECOSISTEMAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO



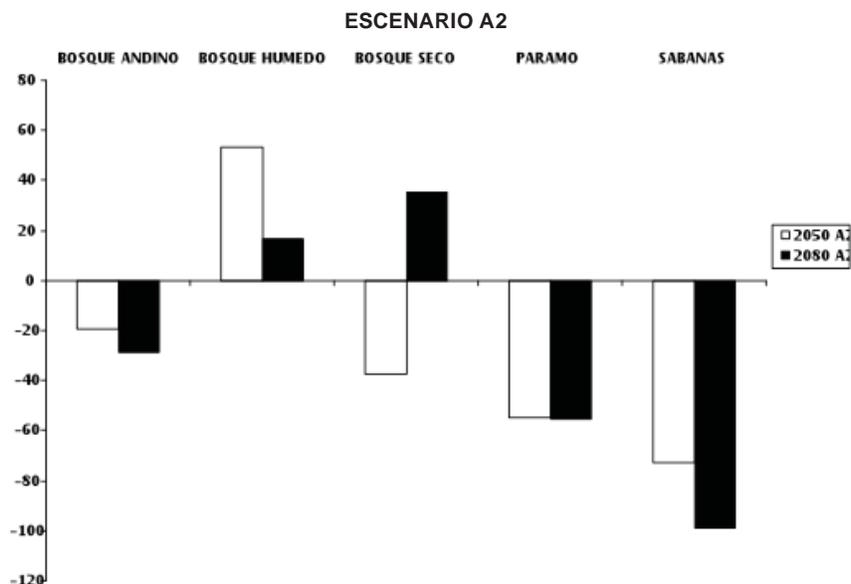
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que en el largo plazo (2080) en un escenario A2, se aprecia un cambio de 10 puntos porcentuales aproximadamente en las coberturas naturales representadas por estos ecosistemas. Los cambios se pueden deber a pérdidas, ganancias o desplazamientos en las áreas de distribución de los ecosistemas donde las zonas existentes en la actualidad pasarían a tener condiciones bioclimáticas características de las zonas inmediatamente más secas, y además podrían presentar desplazamientos altitudinales en el espacio geográfico.

Adicionalmente al cambio de coberturas, el modelo de valoración económica requiere de la estimación de los cambios en la calidad del ecosistema representado en coberturas vegetales y productividad neta primaria, de acuerdo con la metodología descrita en el apartado III.D.2.

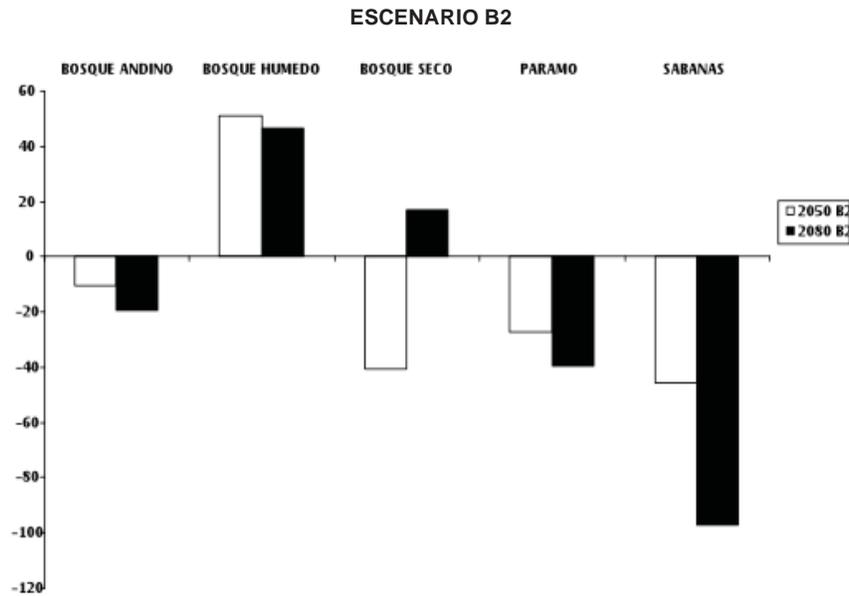
Los gráficos 23 (a y b) muestran los cambios porcentuales en la calidad de los ecosistemas evaluados para cada escenario de cambio climático. Se observa que el ecosistema mayor impactado es el de las Sabanas que presenta una reducción total en su calidad bajo ambos escenarios para el 2080. Esta reducción es explicada por la considerable reducción en su extensión. Lo anterior podría ser efecto del impacto de la ganadería y la agricultura sobre este ecosistema exacerbando el efecto de los cambios en las condiciones climáticas. Por otra parte, el páramo presenta una reducción drástica en su calidad. En el escenario B2, para el año 2080, este ecosistema reduciría su calidad en 40% y en un escenario como el A2 la reducción podría ser de hasta 55%. Algo similar sucedería con el Bosque Andino donde también se evidencia una tendencia a la reducción en la calidad obteniéndose una disminución de hasta 29% para el 2080 A2. En el caso del Bosque Seco se observa algo diferente ya que, si bien, este ecosistema inicialmente muestra una reducción en su calidad de hasta 40% en el año 2050 A2, para el año 2080 A2 el Bosque Seco presenta un aumento del 35% con respecto a la distribución actual. Lo anterior se puede deber, posiblemente, a la iniciación de un proceso de sucesión y regeneración del ecosistema lo que aumentaría el porcentaje de cobertura vegetal y posiblemente la capacidad de producir biomasa. Adicionalmente se esperaría que las condiciones climáticas para el 2080 favorecieran la presencia de ecosistemas xerofíticos y subxerofíticos ya que la vegetación de estos ecosistemas está adaptada para sobrevivir bajo condiciones de estrés hídrico, poca precipitación y tasas elevadas de evapotranspiración. Por último el caso del Bosque Húmedo se presentó un panorama diferente pues allí aumentó el valor de calidad para los dos escenarios A2 y B2. Lo anterior puede estar explicado por un aumento en la precipitación y en la temperatura provocando un aumento en su extensión.

GRÁFICO 23
PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS PARA
LOS ESCENARIOS A2 Y B2 EN LOS AÑOS 2050 Y 2080



(continúa)

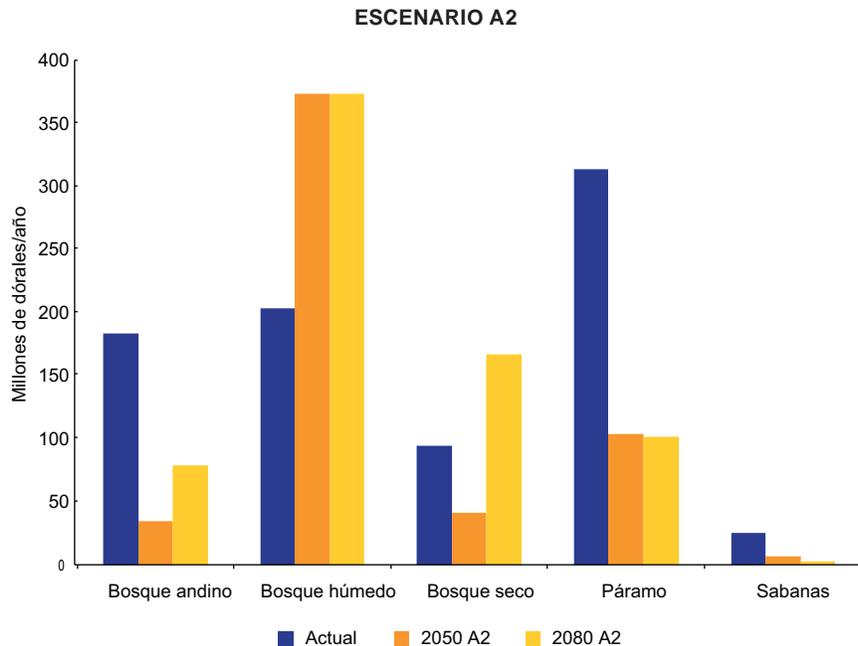
Gráfico 23 (conclusión)



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

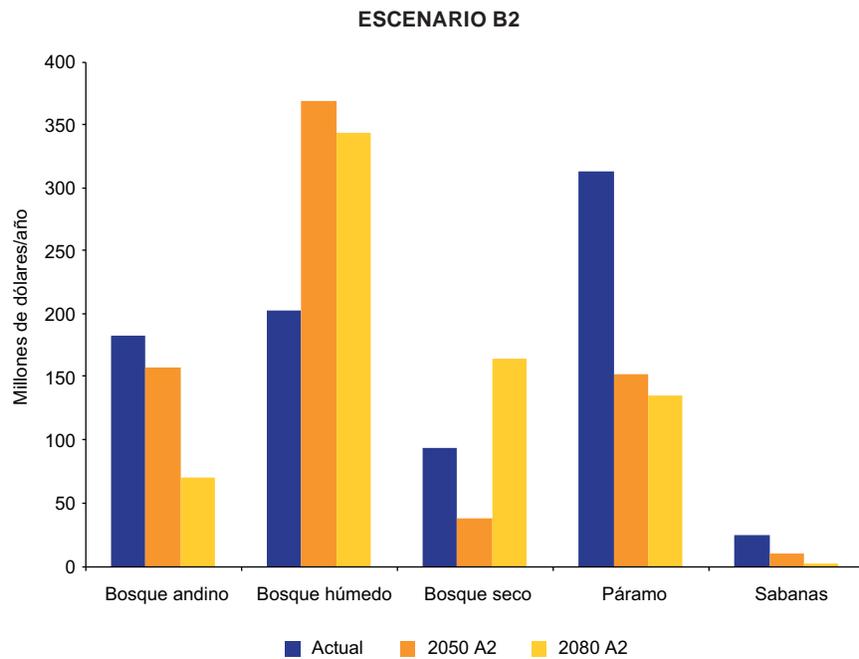
Con la anterior información el Estudio Nacional valoró el impacto del cambio climático sobre los ecosistemas. Los resultados se presentan utilizando la diferencia entre el valor del capital natural de cada uno de los ecosistemas bajo el escenario tendencial y con cambio climático. Los resultados en términos de la fluctuación del capital natural (millones de dólares / año) evidencian cambios económicos drásticos para el año 2050 y 2080 (bajo los escenarios de emisiones A2 y B2) como se muestra en el gráfico 24.

GRÁFICO 24
VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS CINCO ECOSISTEMAS ESTUDIADOS BAJO LOS ESCENARIOS TENDENCIALES Y CON CAMBIO CLIMÁTICO (A2 Y B2)



(continúa)

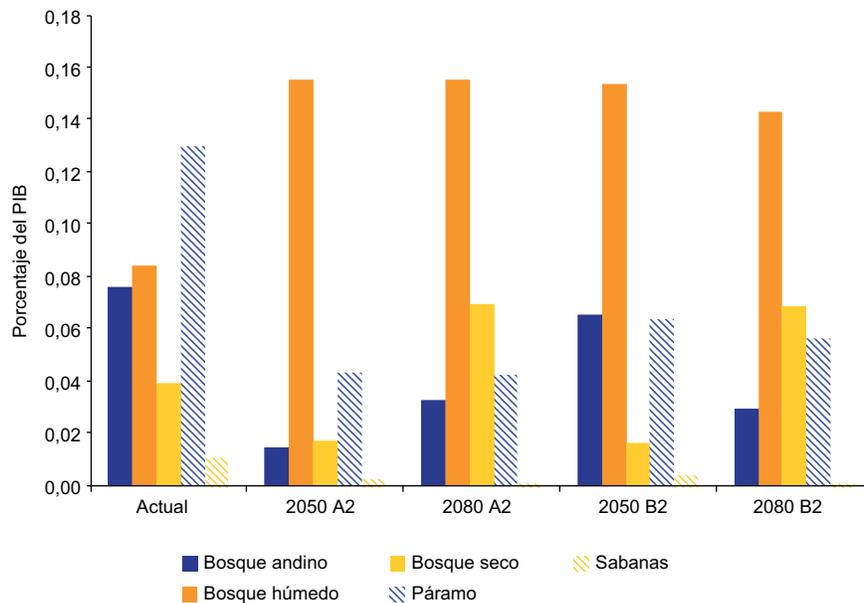
Gráfico 24 (conclusión)



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

En el gráfico 25 se muestra los impactos económicos del cambio climático en los ecosistemas con relación al PIB.

GRÁFICO 25
VARIACIÓN DEL VALOR DEL CAPITAL NATURAL DE LOS ECOSISTEMAS CON RELACIÓN AL PIB, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2009b.

Los gráficos anteriores muestran en primer lugar, que bajo el escenario tendencial los ecosistemas de páramo tienen un mayor valor económico a pesar de su baja extensión. Esta valoración se explica por sus servicios ambientales relacionados con el agua. En contraste, los ecosistemas de sabana presentan el menor valor entre los ecosistemas analizados a pesar de ser el segundo en extensión.

En relación con el impacto económico del cambio climático, apreciamos que el ecosistema de páramo es el que presenta la mayor reducción en su valor de capital natural en ambos escenarios de cambio climático analizado. Un comportamiento similar se presenta con los bosques andinos y las sabanas que disminuyen su valor de capital natural en los dos escenarios. Con respecto al Bosque Húmedo se observa que el valor de este ecosistema aumenta considerablemente en los escenarios A2 y B2, obteniendo valores por encima de los 300 millones de dólares/año que representa el 0,2% del PIB para Colombia en el 2005. Lo anterior es producto del aumento de la distribución de este ecosistema como se puede observar en las predicciones realizadas previamente con los MNE. Esto llevaría a un aumento en la cobertura vegetal que provocaría un aumento de la oferta de servicios ambientales como formación de suelos, regulación hídrica y retención de sedimentos los cuales ayudarían a reducir la carga de sedimentos descargados a los ríos y la compactación del suelo.

En el caso del Bosque Seco se encuentra un patrón de cambio diferente ya que el valor del ecosistema inicialmente se reduce en el año 2050 en los dos escenarios A2 y B2 para después aumentar en el 2080. La reducción se puede deber a una disminución de la cobertura vegetal producto del aumento de la temperatura y disminución en la precipitación lo que haría variar la calidad del suelo y provocar una reducción de los caudales de los ríos afectando la provisión de servicios ambientales como la oferta y calidad de agua (Instituto Alexander von Humboldt, 1998).

Por último, podemos concluir que el impacto del cambio climático tendrá diferentes efectos sobre los ecosistemas, dependiendo de su capacidad de adaptación y resiliencia frente a los cambios esperados de temperatura y precipitación. Los ecosistemas más vulnerables son las sabanas, los bosques andinos y los páramos; mientras que los ecosistemas que podrían adaptarse según el modelo de nicho ecológico son los bosques húmedos y los bosques secos. En cuanto al impacto económico, los ecosistemas de páramo y los bosques andinos son los que tendrán una mayor pérdida de valor de su capital natural, debido al impacto sobre los servicios ambientales que proveen.

B. Impactos abordados por otros estudios

En esta sección se presentan los resultados de estudios de valoración de impactos del cambio climático relacionados con el ascenso del nivel del mar, la salud y la generación de energía eléctrica.

1. Análisis Costo-Beneficio proyecto INAP

Durante el año 2010 el Proyecto INAP contrató un análisis costo-beneficio de las alternativas de adaptación implementadas por el proyecto (Alterio y Rivera, 2010). Teniendo en cuenta la naturaleza de las medidas de adaptación, el estudio aplicó una metodología cualitativa (análisis multicriterio) para evaluar las medidas de adaptación clasificadas de “soporte” y relacionadas con suministro de información, capacitación, educación y comunicación; y una metodología cuantitativa de análisis costo-beneficio para las medidas de adaptación clasificadas como “directas” las cuales incluyen la restauración de rondas hídricas, aplicación de prácticas agroforestales, uso eficiente del agua en Chingaza, almacenamiento de aguas lluvias en la Isla de San Andrés, protección de los corales en el Caribe y sistema de alerta temprana para prevención de malaria y dengue.

Para evaluar el beneficio de las medidas de adaptación se siguió la aproximación del Banco Mundial consistente en construir tres escenarios: un escenario base tendencial o futuro proyectando los cambios en los sistemas socioeconómicos sin cambio climático; un segundo escenario proyectando los sistemas

socioeconómicos con cambio climático y, otro escenario proyectando los sistemas socio-económicos con las medidas de adaptación. Los beneficios (o costos evitados) de las medidas de adaptación se estimaron mediante la diferencia con el escenario de cambio climático, restando el escenario tendencial.

Sin embargo, debido a las limitaciones de información, el estudio, más que evaluar la efectividad de las medidas sobre los sistemas naturales o socioeconómicos, construyó “escenarios económicos de impacto de la aplicación de dichas medidas, ante diferentes niveles de efectividad de las mismas sobre los recursos naturales, a escala departamental y nacional” (Alterio y Rivera, 2010).

2. Recursos costeros y aumento del nivel de mar

Uno de los principales impactos esperados por el cambio climático es el ascenso del nivel del mar. El INVEMAR (2008) llevó a cabo un estudio que abarcó tanto la evaluación de la vulnerabilidad como medidas de adaptación en dos ciudades costeras Cartagena y Tumaco. Entre los principales hallazgos, se encuentra que los principales riesgos en Cartagena son la pérdida de playas, la afectación de la carretera Barranquilla-Cartagena, la inundación parcial del centro histórico y la pérdida de superficies en tierra bomba y puerto y que gran parte de la isla de Tumaco se encuentra en peligro de inundación.

Tomando los resultados del estudio del INVEMAR (Blanco, 2008), valoró el impacto que el ascenso del nivel del mar tiene sobre las viviendas en riesgo de las dos ciudades (Cartagena y Tumaco). Para ello determinó la cantidad de viviendas (21.714 viviendas) localizadas en las áreas de riesgo y aplicó costos unitarios (42.839 dólares/vivienda) calculados por Larssen (2004) para destrucción de infraestructura, daño de infraestructura y daño de muebles.

El costo total estimado debido al aumento del nivel del mar en las dos ciudades fue de 817,5 millones en dólares del 2007 (Blanco, 2008).

3. Salud

La malaria y el dengue son enfermedades transmitidas por vectores (mosquitos) que se encuentran en latitudes tropicales y su incidencia en la región es debida a diferentes factores climáticos, demográficos y sociales (Gubler, 1998). Entre los factores climáticos, la malaria y el dengue requieren una temperatura entre 16° y 33°C y una precipitación mínima de 300 mm, condiciones que se cumplen en ciertas zonas del país y, por lo tanto, se observa una alta incidencia de estas enfermedades. Es el caso de la malaria, para la cual aproximadamente la mitad de los municipios del país han reportado casos en Colombia, de acuerdo con las estadísticas oficiales reportadas por el Instituto Nacional de Salud.

CUADRO 11
CASOS DE MALARIA Y DENGUE EN EL PAÍS

Año	Municipios con casos reportados malaria		Municipios con muertes por malaria	Municipios con casos reportados en dengue	Municipios con muertes por dengue
	<i>Plasmodium falciparum</i>	<i>Plasmodium vivax</i>			
2000	177	295	0	324	0
2001	211	359	0	387	0
2002	225	349	0	432	0
2003	238	354	7	433	5
2004	229	364	21	400	14
2005	228	367	12	420	26
2000 - 2005	394	562	29	573	38

Fuente: Estadísticas Instituto Nacional de Salud (INS).

Aunque el impacto en incidencias por cambio climático es compleja por la cantidad de variables climáticas y socioeconómicas involucradas en la transmisión, se espera un aumento de incidencia en lugares endémicos existentes y la aparición de nuevas áreas endémicas (Blanco y Hernández, 2009).

A pesar de lo anterior, una primera aproximación estima que los costos anuales del aumento en la incidencia de malaria y dengue ascienden a 2,36 millones de dólares (sin considerar mortalidad). El estudio de Blanco y Hernández (2009) lleva a cabo un análisis transversal de incidencias municipales promedio durante el periodo 2000 – 2005 y una correlación entre precipitación y malaria; y temperatura y dengue.¹⁵

Entre los resultados, para un horizonte de 50 años y tomando un aumento de precipitación de 2,5% y aumento de 1,25 °C¹⁶, los autores estiman un aumento del 12% en morbilidad. Esto representa 41.300 casos de dengue y 35.345 casos de malaria adicionales que tendrían un costo total¹⁷ de 2.360.150 de dólares.

4. Costo de la vulnerabilidad energética

Colombia es un país altamente dependiente de las fuentes hídricas para su generación de energía eléctrica. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2006), del total de capacidad efectiva, las plantas hidráulicas constituyen el 67,4%, las térmicas a gas el 27% y a carbón el 5,3% y las demás tecnologías (cogeneración y eólica) el 0,33%. Sin embargo, para el año 2006 de la generación total agregada del Sistema de Interconexión Eléctrica Nacional (SIN), que llegó a 52.246 GWh, las plantas hidroeléctricas (incluidas las menores) aportaron el 84,1% de la generación total (UPME, 2006). Esta dependencia de fuentes hídricas en la generación de energía eléctrica en Colombia, vuelve al sector vulnerable al cambio climático ya que las disminuciones en precipitación reducen su capacidad de generación hidráulica forzando racionamientos o la generación a mayor costo con fuentes fósiles.

A pesar de que el país no ha realizado un estudio detallado sobre los costos de los impactos del cambio climático en el sector eléctrico, se realizó una primera aproximación (Blanco, 2008) basándose en los aumentos de precio de la energía del sistema de interconexión nacional en los periodos en donde se presenta un fenómeno de El Niño fuerte, comparado con su promedio histórico.

Como se puede apreciar en el gráfico 26, ante fenómenos ENOS El Niño - Oscilación del Sur (ENSO en inglés) fuerte o muy fuerte la demanda eléctrica sufre cambios sustanciales en su comportamiento. Para los años 1991 – 1992, cuando hubo un Niño fuerte, se presentó un fuerte racionamiento de energía que no se dio en el período 1997 – 1998, cuando hubo un Niño muy fuerte, porque el sistema había asimilado la situación y, por lo tanto, pudo ajustarse y generar energía a través de centrales térmicas. Cuando ENSO fue moderado, la energía se siguió prestando principalmente a través de centrales hidráulicas.

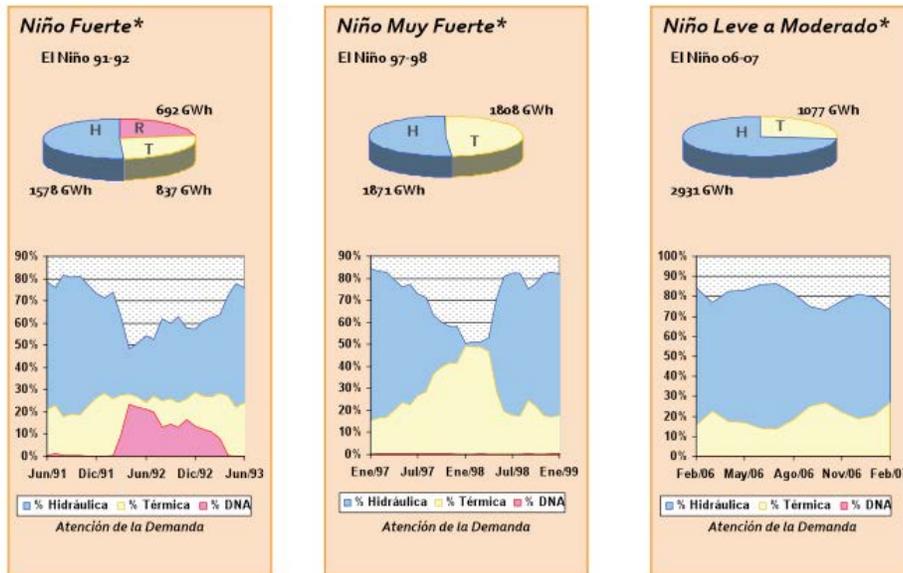
Teniendo en cuenta lo anterior, el estudio hizo una comparación de los impactos de Fenómenos del Niño fuertes con los posibles impactos del cambio climático para Colombia encontrando que existe un grado de similitud entre los impactos del Niño fuertes con los cambios esperados por cambio climático tanto por aumento de la temperatura (1°C a 4°C y disminución de la precipitación en la región Caribe y Andina en un rango del 15% al 30%).

¹⁵ En un ejercicio similar evaluado para los municipios beneficiarios del proyecto INAP y con base en la morbilidad presentada en el año 2005 (Alterio y Rivera, 2010) encuentran que dependiendo de la efectividad del sistema de alerta temprana se puede reducir del 1% al 20% la incidencia; los beneficios económicos a valor presente neto durante el periodo 2010 a 2050 se pueden situar entre 300 y 3.900 millones de pesos.

¹⁶ El dato de aumento de temperatura se basa en el Cuarto Informe del IPCC (2007) y el dato de cambio de precipitación se fundamenta en Bradley y otros. (2006).

¹⁷ Este costo fue calculado en el caso de cada enfermedad a través de costos directos (por ej. medicamentos, tiempos de incapacidad, etc.) e indirectos (por ej. costos de transportes, etc.).

GRÁFICO 26
ATENCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA ANTE FENÓMENOS NIÑO

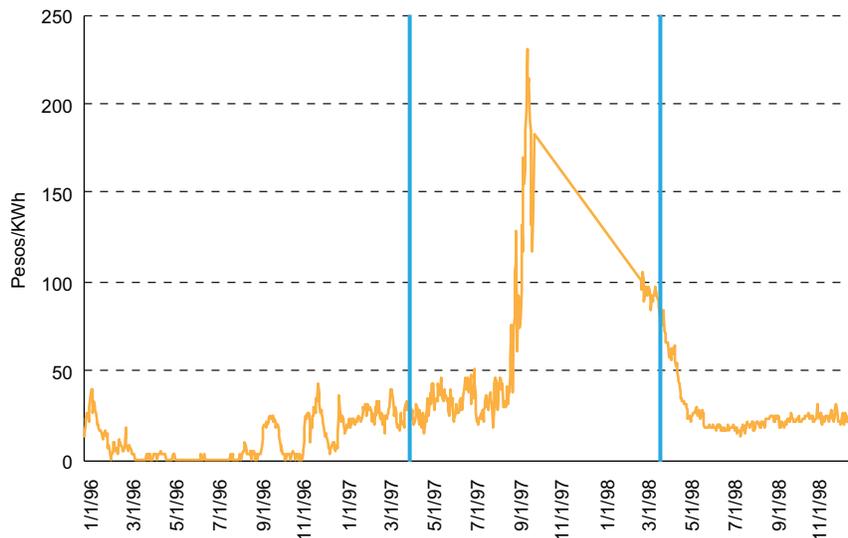


Fuente: XM (2007) citado por Blanco, *Agenda de Cambio Climático para Colombia -Análisis de los Beneficios Económicos* (2008).

DNA= Demanda no atendida (racionamiento).

Con base en esta similitud, Blanco (2008) utilizó el aumento del costo de generación de energía en fenómenos del Niño fuertes para valorar el costo del impacto del cambio climático en la generación de energía eléctrica en el país. El aumento de los costos de la energía la obtuvo al analizar el promedio del precio de generación de energía en bolsa para el período 1996 y 1998 y compararlo con el promedio del precio con fenómeno ENOS como se muestra en el gráfico 27.

GRÁFICO 27
COMPORTAMIENTO DEL PRECIO PROMEDIO DE OFERTA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA BOLSA



Fuente: Base de datos Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) disponible en (www.creg.gov.co).

Los aumentos en el precio de la energía aumentaron en un factor de 2,3 si se comparan con periodos donde no hay presencia de fenómenos del Niño. Bajo los supuestos que el sistema de generación de energía eléctrica tendría el mismo comportamiento bajo un escenario de cambio climático, que el presentado en fenómenos fuertes del Niño, el autor utilizó el factor de aumento de precios anterior para valorar también el aumento esperado de precios de la energía eléctrica bajo el escenario de cambio climático en el 2050. El precio promedio de la energía en el Sistema en el año 2007 correspondió a 0,0477 dólares por kWh. Es decir que, asumiendo un sobrecosto tarifario similar al presentado en fenómenos ENOS muy fuertes como el presentado en los años 1997 – 1998, se esperaría un incremento por un factor de 2,3 del precio promedio oferta de energía por causas climáticas, que para el año 2007 significaría un precio de 0,0706 dólares. El cuadro 12 resume los costos estimados por el autor.

CUADRO 12
COSTO DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR ELÉCTRICO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Ítem	Valor
Consumo Energía (Kwh) 2007	50 812 226 525
Precio promedio de la energía en 2007 (dólares/Kwh)	0,0477
Sobrecosto esperado de la tarifa por cambio climático	0,0706
Costo de la Vulnerabilidad al cambio climático (dólares 2007)	3 586 434 431

Fuente: Blanco, *Agenda de Cambio Climático para Colombia -Análisis de los Beneficios Económicos* (2008).

El cálculo anterior no proyecta el consumo adicional de energía eléctrica al 2050, sino que asume como si el impacto del cambio climático se experimentara en el presente (año base del 2007).

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, se concluye que bajo la configuración actual del sistema de energía eléctrica y si los efectos previstos para el año 2050 por el cambio climático se experimentaran hoy, el costo anual de la vulnerabilidad del sector eléctrico puede estimarse en 3.586 millones de dólares.

C. Impacto agregado esperado

En esta sección se agregan los costos económicos estimados por el Estudio Nacional en los sectores agropecuarios y de ecosistemas, y los costos económicos del ascenso del nivel del mar, el incremento en la incidencia de la malaria y el dengue, y el sector eléctrico. Es importante resaltar que las anteriores estimaciones se realizaron utilizando distintas aproximaciones metodológicas y supuestos; y por lo tanto la agregación debe ser tomada como una indicación general de los costos y no como una valoración precisa de los impactos. En especial es importante tener en cuenta que los estudios sectoriales solo incluyen efectos de equilibrio parcial. Por tanto no captura la interdependencia de la economía que se simula en el MEG4C. Se ignora que el hecho que la energía sea más cara afecta a las industrias.

Para el caso de los impactos en los ecosistemas, sólo se incluyó las pérdidas económicas por disminución del área y la calidad de los ecosistemas de páramo, bosques secos y bosques andinos, debido a la incertidumbre sobre si realmente se podrán obtener las ganancias esperadas por la expansión de las sabanas y bosques húmedos. Esta incertidumbre no es la del modelo utilizado para estimar los cambios de los ecosistemas, sino que aunque teóricamente se predice que algunos ecosistemas podrían aumentar, como por ejemplo el bosque seco, también es probable que las actividades agropecuarias o la colonización impidan esta recuperación esperada teóricamente. Por lo tanto, sólo se incluyeron los impactos esperados por pérdidas de áreas y de calidad en los ecosistemas analizados.

Para efectos de agregar los resultados anteriores, fue necesario transformar los costos anuales estimados hasta el 2050¹⁸ a pesos constantes del año 2007. Los resultados se presentan en pesos, en dólares y como porcentaje del PIB del 2007 y del 2050, ambos en pesos constantes de 2007.

CUADRO 13
COSTOS ANUALES DE IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL AÑO 2050 PARA COLOMBIA
(En dólares y pesos constantes de 2007)

	Millones de dólares	Millones de \$COP	Porcentaje PIB 2007	Porcentaje PIB 2050
Daño en viviendas (1)	817,5	1 699 395	0,4	0,15
Aumento de morbilidad en malaria y dengue (2)	2,4	4 901	0,0	0,00
Impacto en generación hidroeléctrica (3)	3 586,0	7 445 396	1,7	0,65
Impacto en ecosistemas de Páramo y Bosque Andino (4)	508,9	1 056 860	0,2	0,09
Impactos agrícolas (5)	5 500,3	11 422 858	3,61	0,99
Total	10 415,0	1 699 395	6,85	1,88

Fuente: Elaboración propia

Nota:

- (1) Basado en (INVEVAR, 2008) y (Blanco, *Agenda de Cambio Climático para Colombia -Análisis de los Beneficios Económicos*, 2008). Los cálculos asumen daños en la población actual por aumento del nivel del mar de 1 m por cambio climático esperado en el año 2050.
- (2) Basado en (Blanco y Hernández, *The Potential Costs of Climate Change in Tropical Vector-Borne Diseases - A Case Study of Malaria and Dengue in Colombia*, 2009). El estudio asume impactos por aumento en morbilidad por malaria y dengue en la población para el periodo 2050-2055 asumiendo aumentos de precipitación de 2,5% y aumentos de temperatura de 1,25°C en el escenario con cambio climático.
- (3) Basado en (Blanco, *Agenda de Cambio Climático para Colombia -Análisis de los Beneficios Económicos*, 2008) . El cálculo estima el impacto en mayores precios de la energía bajo la configuración actual del sistema de energía eléctrica y si los efectos previstos para el año 2050 de aumento en temperatura de 1°C a 4°C y disminución de precipitación del 15% al 30% por el cambio climático se experimentaran hoy.
- (4) (DNP, 2009b). Impacto sobre pérdida de ecosistemas (bosque andino, bosque húmedo, bosque seco, páramo y sabanas) bajo escenario de cambio climático A2 con aumentos de temperatura de 1,5°C a 1,7°C y disminución de precipitación de 106,7 a 355,1 mm anuales para el 2050.
- (5) Efectos para la economía nacional en el 2050 de impactos de cambio climático en los sectores agricultura, silvicultura, pesca y ganadería, bajo el escenario A2.

Como se muestra en el cuadro 13, los impactos con mayores costos son los calculados para la economía nacional por los choques en los cuatro sectores agropecuarios, seguidos por los impactos sectoriales en la generación de energía hidroeléctrica y en menor medida el daño de viviendas por ascenso del nivel del mar. La totalidad de los costos evaluados hasta el momento alcanza el 6,85% del PIB del 2007 y el 1,88% del PIB estimado para el 2050. Es importante resaltar que los anteriores resultados son basados en estudios parciales que no cubren ni la totalidad de los impactos del cambio climático en los sectores, ni todos los efectos del cambio climático y por lo tanto representan tan sólo una indicación de la magnitud mínima del impacto del cambio climático en la economía nacional.

¹⁸ Los costos anuales sólo se presentan hasta el año 2050 debido a que es el año más lejano para el cual se tienen datos de costos económicos para los cinco rubros analizados en el cuadro 13.

V. Los procesos de adaptación en curso y medidas propuestas

En Colombia los principales avances en adaptación al cambio climático se adelantan mediante los componentes de dos proyectos financiados por el GEF: el Programa Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático – (INAP) y el Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Estos dos proyectos se enmarcan bajo el apoyo institucional y técnico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y el Instituto Nacional de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM).

A continuación se describen los objetivos y alcances de estos proyectos.

A. Proyecto integrado de adaptación nacional (INAP)

El objetivo del proyecto INAP es apoyar los esfuerzos de Colombia para definir e implementar medidas de prevención y adaptación frente a los efectos del cambio climático. Se enfoca en los ecosistemas de alta montaña, áreas insulares y salud humana frente a los vectores asociados a la malaria y al dengue, así como en el fortalecimiento de los sistemas de captura y procesamiento de la información meteorológica y en el aumento en la precisión de los modelos de clima futuros regionalizados en áreas priorizadas. Con estos proyectos se busca fortalecer el diseño de políticas nacionales de reducción de la vulnerabilidad y de medidas de adaptación que se integren a los planes de desarrollo a nivel local, regional y nacional.

La información climática y de ecosistemas de alta montaña relacionada con este proyecto está siendo generada por el IDEAM, quien adicionalmente realiza las labores de coordinador técnico general de este proyecto. Este instituto nacional de investigación, así mismo, coordina el sistema de información ambiental y es responsable de la meteorología, la hidrología y los estudios ambientales en Colombia. El componente insular está siendo implementado por el INVEMAR y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA). El Instituto Nacional de Salud (INS), junto con el Ministerio de Protección Social coordina el componente de salud.

B. Programa conjunto de integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático en el Macizo Colombiano

El objetivo principal del Programa Conjunto (PC) es fortalecer la integración de la temática ambiental en la agenda nacional con énfasis en la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones pobres a la degradación ambiental y, en especial, al cambio climático. El programa se plantea actuar desde tres áreas temáticas que constituyen los resultados a lograr:

- *Formulación de políticas:* Apoyar, mediante actividades de asesoría y fortalecimiento técnico, la formulación de políticas específicas relacionadas con la adaptación al cambio climático y su inclusión en las estrategias para la Reducción de la Pobreza y la Política Nacional Hídrica.
- *Fortalecimiento institucional y de organizaciones sociales:* Fortalecer en aspectos técnicos y organizacionales las entidades sociales comprometidas en la formulación, coordinación e implementación de estrategias y políticas relacionadas con el manejo integral de ecosistemas, gestión del recurso hídrico y adaptación al cambio climático.
- *Fortalecimiento de la capacidad técnica y organizativa de implementación conjunta de políticas de adaptación por parte de actores locales:* Se trata de realizar experiencias piloto en la cuenca alta del Río Cauca (municipios de Puracé y Popayán) en el Macizo Colombiano. Estas experiencias integran medidas de evaluación de vulnerabilidad e implementación de acciones específicas de adaptación en los siguientes ámbitos: sistemas de producción agropecuaria, protección de ecosistemas y prevención o contingencia de riesgos. De esta experiencia concreta se espera: extraer elementos importantes para el enriquecimiento del resultado 1 y, por otra, validar tecnologías concretas y metodologías de concertación entre actores sociales y entidades en el contexto de la elaboración y puesta en marcha de planes de ordenamientos de cuencas hidrográficas con visión amplia e integral.

1. Propuestas de adaptación; descripción y estimación de sus costos

En esta sección se describen las medidas de adaptación propuestas por los anteriores proyectos así como en otros estudios realizados a nivel nacional, particularmente los realizados por (INVEMAR, 2003). Las medidas que se incluyen en esta sección son las que a criterio del editor, fueron diseñadas con el propósito explícito de la adaptación al cambio climático y contienen elementos que permiten incorporar los efectos del cambio climático sobre la variabilidad climática tendencial. En este sentido también se excluyen los proyectos de investigación y monitoreo.

a) Adaptación al ascenso del nivel del mar

El INVEMAR clasifica en tres categorías las posibles medidas de adaptación al ascenso del nivel del mar en Colombia: **Reubicación** planeada, en donde se permiten los impactos sobre los sistemas naturales y se minimizan los impactos sobre los sistemas socioeconómicos mediante la evacuación y relocalización de los asentamientos humanos y actividades productivas. **Acomodación**, en donde se permiten los impactos

sobre los ecosistemas naturales y los impactos sobre la población humana son minimizados mediante la modificación del uso de la zona costera. **Protección**, los impactos tanto en los ecosistemas y la población humana es minimizado mediante la construcción de infraestructura liviana o permanente en las zonas que se verían afectadas por el ascenso del nivel del mar.

El estudio sólo analizó las estrategias y medidas de respuesta que se consideraron factibles de implementar en las áreas más críticas identificadas en la evaluación de vulnerabilidad. Las áreas críticas en la zona del Caribe continental para un ascenso de 30 cm en el nivel del mar fueron las ciudades de Santa Marta, Cartagena y Turbo; debido a la alta proporción de población e infraestructura en riesgo y diversidad biológica de las áreas protegidas alejadas. En la zona del Pacífico, se identificó sólo un municipio como crítico: el Municipio de Tumaco debido a que gran parte de su cabecera estaría afectada por el ascenso del nivel del mar. Para un escenario de ascenso de 100 cm, además de las anteriores ciudades, se catalogan como críticas las ciudades de Barranquilla y Buenaventura.

Aunque el estudio (INVEMAR, 2003) analizó varias medidas de adaptación, realizó una especificación más detallada y un costeo preliminar la estrategia catalogada de “Protección Total” para compararlas con un escenario de ausencia de medidas. La protección total incluyó dos tipos de medidas: la planificación local, que consiste en la incorporación del riesgo de aumento del nivel del mar en los Planes de Desarrollo Municipal y los Planes de Ordenamiento Territorial; y medidas adicionales de adaptación y defensa que incluyen obras de infraestructura pesada (diques, muros de contención etc.) y liviana (relleno de playas, arrecifes artificiales con bolsas de arena etc.) diseñadas para un escenario de ascenso del nivel del mar de 1 metro.

El cuadro 14 muestra un resumen de los costos equivalentes anuales¹⁹ de las medidas de adaptación identificadas por el INVEMAR.

CUADRO 14
COSTO ANUAL EQUIVALENTE DE IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
AL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR EN ÁREAS CRÍTICAS

(En millones de dólares 2008)

Estrategia/ medidas	Santa Marta	Barranquilla	Cartagena	Golfo de Morrosquillo	Buenaventura	Guapi	Tumaco	Total
Planificación local	100,47	162,28	70,17	13,58	4,51	1,38	4,22	356,62
Medidas adicionales								
Reubicación de población	1,80	18,49	24,93	2,19	5,55	0,60	3,17	56,74
Adaptación (sistemas viales y puentes)	0,00	12,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,43
Muros de contención (puertos y carreteras)	0,02	0,00	0,28	0,37	0,04	0,00	0,00	0,71
Diques marinos (Malecón)	0,30	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
Dique fluvial	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
Relleno de playas	12,53	0,00	29,86	0,00	0,00	0,00	0,00	42,39
Construcción de arrecifes artificiales	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05
Sistemas de alerta	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Total	115,14	193,45	125,47	16,19	10,11	1,98	7,39	469,74

Fuente: Basado en INVEMAR (2003).

¹⁹ El Costo Anual Equivalente es un método de conversión financiera que permite comparar distintos proyectos de inversión que difieren en sus características de inversión inicial, costos operacionales y vidas útiles. Este costo corresponde a una anualidad constante durante un periodo de tiempo determinado, cuyo flujo sería equivalente financieramente al flujo particular del proyecto de inversión. Se calcula en dos etapas: primero se calcula el valor presente neto del flujo del proyecto de inversión, y luego se calcula la anualidad equivalente de dicho VPN durante un periodo de tiempo determinado. Para el caso de las medidas de adaptación, el Costo Anual Equivalente incluyó tanto la inversión inicial como los costos de operación y mantenimiento de cada medida durante su vida útil.

Teniendo en cuenta que el INVEMAR proporcionó los costos iniciales de inversión y los costos anuales de mantenimiento de las anteriores medidas, para el cálculo del Costo Anual Equivalente se utilizó dicha información así como una tasa social de descuento²⁰ del 12% y un periodo de evaluación de 40 años.

De acuerdo con el cuadro anterior, proveer una protección total para la adaptación al ascenso del nivel del mar por el cambio climático en las regiones críticas identificadas costaría 469 millones de dólares anuales hasta el 2050.

b) Adaptación al incremento de morbilidad por malaria y dengue

El Proyecto Piloto de Adaptación Integrado Nacional (INAP) financiado por el GEF incluyó el diseño e implementación de medidas para la adaptación al cambio climático por el incremento de la morbilidad y mortalidad por malaria y dengue en Colombia. La medida de adaptación que se encuentra en diseño consiste en la implementación de un sistema de alerta temprana para la vigilancia y control de la malaria y el dengue. El sistema contempla la calibración de un modelo predictivo de incidencias y brotes de malaria y dengue con base en variables climáticas, biológicas y socioeconómicas y un programa de implementación de medidas de prevención de brotes epidemiológicos de estas enfermedades con los municipios y departamentos. El proyecto piloto trabaja con 12 municipios endémicos para malaria y 12 para dengue. Su principal objetivo es alcanzar una reducción del 30% en la morbilidad en ambas enfermedades mediante la modificación del actual sistema de vigilancia y control de enfermedades – SIVIGILA, de un sistema de reporte a un sistema efectivo de prevención y control de estas enfermedades. De acuerdo con el proyecto INAP, el costo de esta medida piloto de adaptación es de 6,1 millones de dólares para un periodo de implementación total de 5 años.

c) Adaptación a los impactos en los ecosistemas de páramo y alta montaña

Al igual que en el caso anterior, el proyecto INAP se encuentra diseñando e implementando medidas para la adaptación a los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas de páramo y alta montaña. El componente se encuentra diseñando medidas para el sitio piloto del Parque Nacional Natural Chingaza. El principal objetivo de las medidas es la de mantener los servicios ambientales que proveen estos ecosistemas especialmente los relacionados con los servicios hídricos y de biodiversidad. Las medidas de adaptación bajo diseño e implementación son la planeación y manejo de los ecosistemas, la planificación adaptativa del uso del suelo para la reducción de los impactos del cambio climático y la degradación del suelo, y el mejoramiento de la productividad de los agroecosistemas para disminuir su vulnerabilidad socioeconómica a los impactos del cambio climático. El costo de estas medidas de adaptación es de 4,3 millones de dólares para un periodo de implementación de 5 años.

d) Medidas de adaptación en áreas insulares y costeras del Caribe

Este componente del proyecto INAP abordó el diseño e implementación de varias medidas de adaptación relacionadas con distintos impactos sobre las zonas insulares del Caribe Colombiano.

Intrusión salina en el acuífero por ascenso del nivel del mar en la Isla de San Andrés: La principal medida que se encuentra en implementación es la construcción de sistemas de recolección de aguas lluvias y manejo de aguas grises en viviendas de las comunidades raizales de la Isla de San Andrés. Estos sistemas permitirán la captación directa del agua lluvia y la menor dependencia del acuífero que se verá afectado por el cambio climático.

Impacto en ecosistemas marinos y costeros por incremento de la temperatura: Las medidas de adaptación se orientan a la implementación de áreas marinas protegidas en la Reserva de la Biósfera de “*Seafflower*” en San Andrés y la de Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte. La implementación de

²⁰ Tasa social de descuento utilizada por Departamento Nacional de Planeación para la evaluación de proyectos de inversión (2006a).

las áreas marinas protegidas disminuirá los impactos antrópicos sobre los ecosistemas marinos y costeros y por lo tanto aumentará su resiliencia a los impactos esperados del cambio climático.

Impacto del aumento del nivel del mar sobre infraestructura y población costera: Para este impacto, se encuentra en diseño e implementación dos tipos de medidas: la implementación de estaciones de monitoreo para la medición entre otros de los aumentos del nivel del mar, integrado al sistema de observación regional “*Global Ocean Observing System – GLOOS*”; y la implementación del manejo integrado costero en áreas vulnerables al ascenso del nivel del mar.

La totalidad de las anteriores medidas piloto tienen un costo de 3,5 millones de dólares y también son implementadas en un periodo de 5 años.

e) Medidas de monitoreo

El INAP también incluyó un componente de fortalecimiento de las instituciones encargadas del monitoreo climático como soporte del diseño e implementación de las medidas de adaptación. El componente de fortalecimiento del INVEMAR y el IDEAM incluyó actividades orientadas al desarrollo de escenarios locales climáticos, renovación de 157 estaciones de un total de 3100 de la red meteorológica actual relevantes para el monitoreo del cambio climático, y apoyo al personal técnico y científico de estas instituciones. El costo de este componente es de 4,3 millones de dólares.

VI. Procesos de mitigación del cambio climático

Este capítulo presenta la identificación y evaluación de medidas y opciones de mitigación adelantadas directamente por este estudio para el sector energético, como la recopilación de resultados similares en otros estudios. Asimismo, se presenta las proyecciones de emisiones para Colombia bajo un escenario tendencial.

A. Escenarios base de CO₂ equivalente

La proyección de emisiones de gases efecto invernadero se realizó siguiendo dos aproximaciones: la primera estimación proyecta las emisiones históricas suponiendo que se mantendrá la misma relación entre emisiones y producto interno bruto de cada sector; mientras que la segunda proyecta las emisiones de cada sector con base en los valores esperados de las variables de actividad según los correspondientes planes de expansión. A continuación se presentan los resultados de ambos ejercicios.

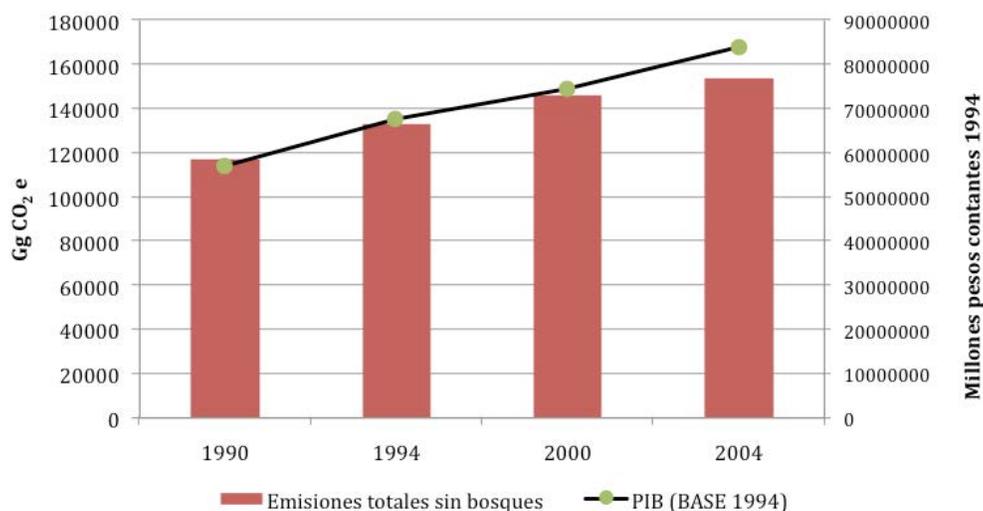
1. Proyección de emisiones con base en PIB

La proyección de emisiones con base en el PIB parte del supuesto que se mantendrá la misma relación entre emisiones y producción como la observada históricamente, durante el periodo de proyección. La relación histórica entre el PIB y las emisiones puede observarse en el gráfico 28.

Como se aprecia en el gráfico 28, el crecimiento de las emisiones sigue la misma tendencia que el PIB durante el periodo 1990 – 2000. En

el año 2004 se observa una desviación de la tendencia, evidenciando un desarrollo más bajo en carbono. Por lo tanto, para efectos de la proyección, se utilizará el coeficiente de emisión por PIB del año 2004.

GRÁFICO 28
RELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO Y EL PIB NACIONAL



Fuente: Elaboración propia basado en Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero.

Por lo tanto, metodológicamente se siguieron los siguientes pasos:

- Asignar las emisiones del inventario nacional a los sectores con los que se calcula el PIB nacional. Este paso es necesario dado que las categorías del inventario no coinciden con las categorías de los sectores del PIB. El cuadro 15 muestra la asignación de las emisiones.

CUADRO 15
ASIGNACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN A SECTORES DEL PIB

Sector del PIB	Fuentes del Inventario Nacional
Agropecuario	4.C. Cultivo de Arroz 4.D. Suelos agrícolas 4.E. Quema prescrita de sabanas 4.F. Quema de residuos agrícolas en campo 1.A.6. Otros – Quema de combustibles. (Agricultura/pesca/forestal) 1.C. Energía – Biomasa 2.D. Procesos industriales – otros (Alimentos, Bebidas) 6.2. Conversión de bosques y praderas 6.3. Abandono de tierras cultivadas 6.4. Emisiones de CO ₂ del suelo
Ganadería	4.A. Fermentación entérica 4.B. Manejo de estiércol 6.2. Conversión de bosques y praderas
Forestal	1.A.6. Otros – Quema de combustibles (Agricultura/pesca/forestal). 6.1. Cambios de biomasa 6.2. Conversión de bosques y praderas 6.4. Emisiones de CO ₂ del suelo
Minero/ener	1.B.1. Minería Carbón 1.B.2. Petróleo y Gas Natural
Minerales	2.A. Procesos industriales- minerales no metálicos

(continúa)

Cuadro 15 (conclusión)

Sector del PIB	Fuentes del Inventario Nacional
Energía	1.A.1. Industrias de la Energía 1.A.6. Otros – Quema de combustibles (Residencial)
Agua	7.A. Disposición de residuos 7.B. Tratamiento de aguas residuales 7.C. Excretas humanas
Manufactura	1.A.2. Industrias Manufactureras y de la Construcción 2.B. Procesos industriales – productos químicos 3.1. Uso de Hexafluoruro de Azufre 3.2. Uso de sustitutos de Sustancias agotadoras de capa de ozono
Construcción	1.A.2. Industrias Manufactureras y de la Construcción
Comercio	1.A.6. Otros – Quema de combustibles (Comercial e Institucional)
Transporte	1.A.3. Transporte
Servicios	1.A.6. Otros – Quema de combustibles (Comercial e institucional)
Pesca	1.A.6. Otros – Quema de combustibles (Agricultura/pesca/forestal)

Fuente: Elaboración propia.

Cuando las emisiones de una fuente se asignaban a más de un sector; se dividieron las emisiones proporcionales al PIB sectorial.

- Cálculo del coeficiente de emisión de CO₂e por PIB sectorial. El segundo paso metodológico fue calcular la relación entre las emisiones de CO₂e y el PIB sectorial. Para ello se utilizaron las emisiones calculadas en la Segunda Comunicación Nacional para el año 2004 y el PIB de cada sector en el año 2005²¹. El cuadro 16 presenta los coeficientes calculados.

CUADRO 16
COEFICIENTES DE EMISIÓN POR PIB SECTORIAL

Sector del PIB	Coficiente de emisión (Gg CO ₂ e/PIB Miles de Millones Pesos de 2005)
Agropecuario	1,98
Ganadería	2,55
Forestal	2,79
Minero-energético	0,44
Minerales	0,64
Energía	0,53
Agua	2,66
Manufactura	0,16
Construcción	0,10
Comercio	0,003
Transporte	0,68
Servicios	0,003
Pesca	0,03

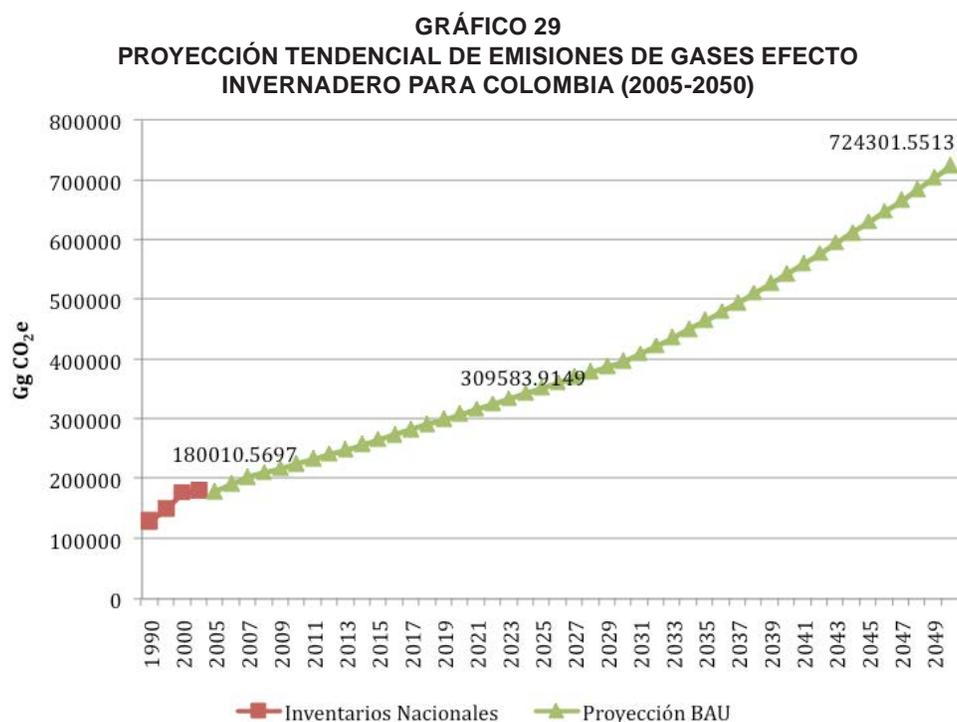
Fuente: Elaboración propia.

- Por último se proyectaron las emisiones multiplicando el coeficiente de emisión por la proyección del PIB. La proyección del PIB se tomó de los resultados del modelo de equilibrio general MEG4C presentado en el apartado III.A bajo el escenario tendencial. Es importante

²¹ La elección particular del año 2005 tiene dos justificaciones: i) es el año más reciente en el cual se ha llevado a cabo un censo nacional y por ello es el año más cercano que cuenta con la mayor cantidad de información y ii) la Matriz de Contabilidad Social utilizada para calibrar el MEGC4 se construyó con base en los datos de dicho año.

aclarar que las emisiones por el sector de cambio de uso del suelo y forestería se mantuvieron constantes durante todo el periodo, por considerar que no tienen una relación tan directa con los aumentos de la producción.

En el gráfico 29 se presentan los resultados de las emisiones de gases efecto invernadero hasta el 2050.



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el gráfico 29, las emisiones tendrán un crecimiento constante durante todo el periodo siguiendo las tasas de crecimiento del PIB. De acuerdo con esta aproximación, para el año 2020 se espera que las emisiones alcancen 309.584 Gg CO₂e mientras que para el 2050 las 724.302 Gg CO₂e.

Estas emisiones pueden considerarse como un límite superior dado que no contemplan mejoras en eficiencias, medidas de mitigación durante el periodo de proyección, ni los efectos de cambios en la estructura interna de producción sectorial sobre las emisiones sectoriales, por ejemplo cambios en la intensidad de uso de energéticos, en la medida en que el coeficiente de emisiones está asociado al PIB de cada sector.

2. Proyección de emisiones sectoriales

La segunda aproximación realizada por el Estudio Nacional para la proyección de las emisiones de gases efecto invernadero parte de las proyecciones de crecimiento de las categorías de fuentes de emisión del inventario para proyectar sus niveles de actividad y aplicar los factores de emisión correspondientes. Este ejercicio se desarrolló para la categoría de 1- Quema de Combustibles Fósiles y la categoría de 4 - Emisiones del Sector Agrícola. Los anteriores sectores participaron del 74% de las emisiones totales nacionales en el año 2004.

a) Proyección de emisiones en la categoría de Quema de Combustibles Fósiles

La proyección de emisiones en esta categoría la realizó la Universidad de los Andes en convenio con el grupo Emgesa-Codensa (Cadena y otros, 2009). En esta sección se presentan los principales resultados de este estudio.

Para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero se utilizó el modelo denominado MARKAL (*Market Allocation*) -Colombia, Versión 2. Este es un modelo de programación lineal multiperiodo, desarrollado para apoyar la toma de decisiones en los procesos de planificación de largo plazo en sistemas energéticos nacionales o regionales.

MARKAL es un modelo manejado desde la demanda, la cual es especificada exógenamente en términos de necesidades socioeconómicas (ej. transporte de pasajeros, producción industrial, etc.). El sistema energético está representado mediante un conjunto de diferentes tecnologías que participan a lo largo de la cadena energética. Estas tecnologías representan los procesos de extracción, transformación y consumo final. Se modelan en términos de sus características técnicas (ej. eficiencias, disponibilidades y económicas) costos de inversión, operación y mantenimiento.

El modelo evalúa la contribución óptima de las tecnologías mencionadas en función de diferentes objetivos alternos o ponderados: minimización de costos descontados, minimización de importaciones de combustibles fósiles, minimización de emisiones contaminantes, maximización de la participación de fuentes renovables, con sujeción a ciertas restricciones.

Para la realización de estos análisis, MARKAL simula el sistema energético sobre nueve períodos de cinco años y requiere los siguientes datos de entrada:

- Proyecciones de reservas de energía primaria, de exportaciones e importaciones de energéticos y niveles de precios correspondientes.
- Proyecciones de demanda útil de energía por sectores para cada período de tiempo.
- Descripción técnicoeconómica de las tecnologías disponibles -existentes y nuevas.

Una combinación de diferentes situaciones de reservas de energía y precios de los energéticos dan origen a diferentes escenarios energéticos posibles para el caso colombiano. Para el estudio se construyeron tres escenarios energéticos y posteriormente se eligió el caso base entre este conjunto.

Las proyecciones de demanda útil dependen básicamente de la evolución de la economía y población. Estas proyecciones se basaron en los escenarios macroeconómicos desarrollados por el DNP.

Los resultados del modelo MARKAL abarcan:

- Programa óptimo de expansión de la capacidad de la oferta energética, seleccionado dentro de un conjunto de tecnologías previstas y bajo diferentes escenarios de sustitución.
- Programa de operación para las tecnologías seleccionadas.
- Repartición óptima de energéticos y tecnologías a nivel de energía final y secundaria.
- El conjunto de precios sombra de cada energético.
- El costo reducido de cada actividad que no aparece seleccionada en el programa óptimo.

A diferencia de la proyección con base en el PIB que se describió en la sección anterior que sobreestima las emisiones, el modelo MARKAL al ser un modelo de programación lineal que busca soluciones óptimas ante el objetivo propuesto, produce un límite inferior del escenario base de emisiones, suponiendo que no se implementan medidas de mitigación durante el periodo de análisis. Por lo tanto, las dos aproximaciones darán un rango probable de las emisiones del escenario base.

En la siguiente sección se presentan los datos de entrada utilizados para la proyección de las emisiones con el modelo MARKAL.

b) Datos de entrada y construcción de escenarios

El país cuenta con reservas importantes de recursos fósiles; en su orden, de carbón, gas natural y petróleo. La relación reservas/producción es superior a los 200 años para el carbón, a los 15 para el gas natural y a los 5 años para el petróleo. En cuanto a recursos renovables, Colombia cuenta con abundantes recursos hídricos, radiación solar, disponibilidad de bagazo, leña y residuos agropecuarios; así como también con recursos localizados para el aprovechamiento eólico y geotérmico.

El Plan Energético Nacional (PEN) 2006-2025 Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) - Ministerio de Minas y Energía (2006), propone diferentes escenarios de nuevas reservas de estos energéticos, que van desde la escasez hasta la abundancia. El cuadro 17 muestra los diferentes escenarios que resultaron de un estudio adelantado por la UPME y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). A partir de estos escenarios se construyeron diferentes posibilidades de hallazgos para el modelo MARKAL.

CUADRO 17
ESCENARIOS PARA RESERVAS DE COMBUSTIBLES FÓSILES

	Abundancia	Sesgo Petróleo	Sesgo Gas	Escasez
Reservas crudo				
Nuevas reservas (MBLS)	6 817,0	5 117,0	3 377,0	2 377,0
Total reservas (MBLS)	8 359,5	6 659,5	4 919,5	3 919,5
Total reservas (PJ)	48 267,1	38 451,4	28 404,8	22 630,9
Reservas gas				
Total reservas liviano (PJ)	28 960,3	23 070,9	17 042,9	13 578,5
Total reservas pesado (PJ)	19 306,8	15 380,6	11 361,9	9 052,4

Fuente: Cadena y otros (2009), basado en Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía 2006.

Con relación a los precios internacionales de los energéticos, se recurrió a la información del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, 2008,) por su sigla en inglés (*Department of Energy*) y se supuso un incremento continuo hasta el 2015, para lo cual se tomaron los precios de marzo y junio de 2008 como correspondientes a los del 2010 y 2015 respectivamente. A partir de allí se consideraron tres posibilidades de evolución de los precios: una de sostenibilidad en el nivel de 2015, llamada de precios altos; otra de reducción progresiva hasta llegar a los niveles de 2005 en el 2040, esto es entre 70 y 80 dólares el barril, denominada precios medios; y otra de sostenibilidad en los precios actuales, o de precios bajos.

El consumo de energía es reportado en los balances energéticos para los siguientes sectores: residencial, comercial y público, agrícola y minero, industrial y transporte.

Para la proyección del consumo de energía se utilizó el escenario de crecimiento del PIB nacional o sectorial y de población como “motores” de cada uno de los sectores de consumo final. El escenario macroeconómico seleccionado corresponde a uno de crecimiento medio, construido por la Universidad de los Andes a partir del escenario vigente en 2008 y revisado por el DNP²². Este escenario podría considerarse hoy como de crecimiento alto. Por esta razón se construyó un escenario disminuyendo el escenario de crecimiento medio del PIB entre uno y medio punto (1,5%) en 2010 hasta un cuarto de punto

²² Al momento de realizar el estudio, no se tenía los resultados del modelo de equilibrio general y por lo tanto los escenarios macroeconómicos usados eran los disponibles a la fecha del estudio.

(0,25%) en 2040. En el cuadro 18 se presentan las tasas de crecimiento del PIB sectorial para el escenario medio y de población para el período 2010-2040²³.

CUADRO 18
TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y DEL PIB

(En porcentaje)

	2000-2005	2005-2010	2010 - 2015	2015 - 2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040
Crecimiento población total nacional	1,59	1,39	1,20	1,01	0,82	0,62	0,43	0,22
Crecimiento población urbano nacional	2,15	1,90	1,66	1,42	1,20	0,97	0,74	0,51
Crecimiento población rural nacional	0,18	-0,02	-0,21	-0,40	-0,59	-0,77	-0,97	-1,17
PIB Agropecuario, Silvicultura, pesca		3,25	3,53	3,99	4,50	4,50	4,50	4,50
PIB Industria Manufacturera		4,49	4,78	5,00	5,03	5,03	5,03	5,03
PIB Comercio, restaurante y hoteles		4,86	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15
PIB Transporte, almac. y comunic.		5,44	5,20	5,15	5,15	5,10	5,10	5,10
PIB		5,25	4,93	4,93	5,00	5,00	5,00	5,00
PIB per cápita		3,81	3,69	3,88	4,15	4,35	4,55	4,77

Fuente: Cadena y otros (2009).

Por otra parte, se modelaron 400 tecnologías actuales y futuras, para los diferentes sectores y segmentos de consumo final, opciones de transformación para la producción de energéticos secundarios, alternativas de suministro de energía primaria y facilidades de comercio internacional. Se consideraron diferentes composiciones del parque de generación de energía eléctrica (hidráulico y térmico) con tecnologías actuales y nuevas (convencionales y renovables); también opciones de electricidad e hidrógeno en el transporte público de pasajeros; y posibilidades de comercio internacional de gas natural mediante un gasoducto con Venezuela y tecnologías de licuefacción y regasificación. Cada tecnología se representa por sus características técnicas (eficiencia, vida útil y capacidad residual) y económica (costos de inversión y de operación).

A partir de la anterior información, el análisis de emisiones se realizó para los siguientes tres escenarios de comportamiento de las variables clave:

- Base 1: Hallazgos de reservas de petróleo según el escenario de escasez de reservas de petróleo y de gas natural según el escenario sesgo petróleo, de los escenarios UPME-ANH; precios medios de los energéticos tranzados, escenario macroeconómico con crecimiento alto, esto es demandas altas, y composición hidrotérmica del 65% al 35% al final del horizonte de análisis.
- Base 2: Hallazgos de reservas del sesgo gas para petróleo y del sesgo petróleo para gas natural, precios medios, escenario macroeconómico con crecimiento medio, o demandas medias, y composición hidrotérmica del anterior.
- Base 3: Hallazgos escasos de reservas: los escenarios de escasez de petróleo y gas natural para cada energético respectivamente, precios medios, crecimiento macro-económico bajo o demandas bajas y composición hidrotérmica del 80% al 20% al final de horizonte de planeamiento.

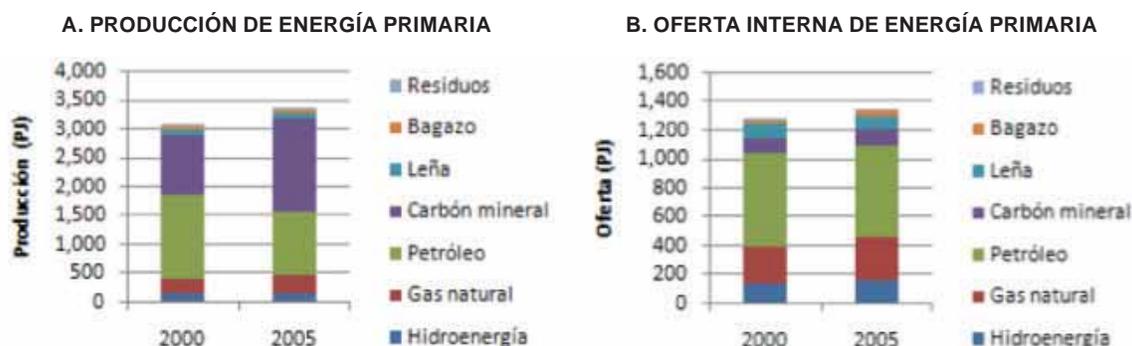
²³ Es importante aclarar que las proyecciones económicas y poblacionales del modelo MARKAL utilizadas en esta sección difieren de las que se utilizaron en el caso del modelo de equilibrio general computable; por ello los resultados de ambos modelos no son totalmente comparables.

c) Composición actual de la matriz energética

Antes de presentar los resultados de la proyección de emisiones, a continuación se describe brevemente la composición actual de la matriz energética tanto para la oferta como para la demanda.

En el gráfico 30 se muestra la producción nacional y oferta interna para cada fuente de energía para los años 2000 y 2005.

GRÁFICO 30
PRODUCCIÓN Y OFERTA INTERNA DE ENERGÍA PARA 2000 Y 2005 POR FUENTE

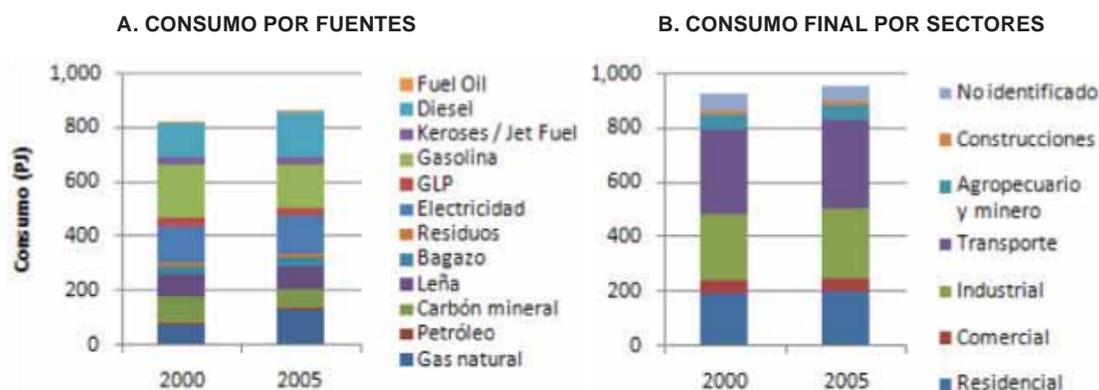


Fuente: Cadena y otros (2009).

El gráfico 30 muestra que las principales fuentes de energía producidas en el país son el petróleo y el carbón. Se observa también que este último incrementó su participación durante el periodo 2000 a 2005, mientras que el petróleo decreció en el mismo periodo. Asimismo, el gas natural también tuvo un comportamiento creciente. El gráfico muestra que la oferta interna tiene un comportamiento distinto ya que la principal fuente de energía es el petróleo seguido por el gas natural y la energía hidroeléctrica. Esto refleja que la mayor parte del carbón producido en el país es exportado.

En el gráfico 31 se muestra el consumo final por fuentes y por sectores: En este gráfico se evidencia la variedad de fuentes de energía consumida en el país, destacándose la gasolina, el diesel, la electricidad, el gas natural y el carbón mineral. Los energéticos que han incrementado su participación en cuanto a la demanda son el diesel y el gas natural; mientras que los que evidencian disminuciones son el carbón mineral y la gasolina durante el periodo 2000 a 2005. El consumo por sectores muestra una distribución de la demanda relativamente constante explicada principalmente por los sectores de transporte, industria y residencial.

GRÁFICO 31
CONSUMO FINAL DE ENERGÍA POR FUENTES Y SECTORES PARA EL 2000 Y 2005

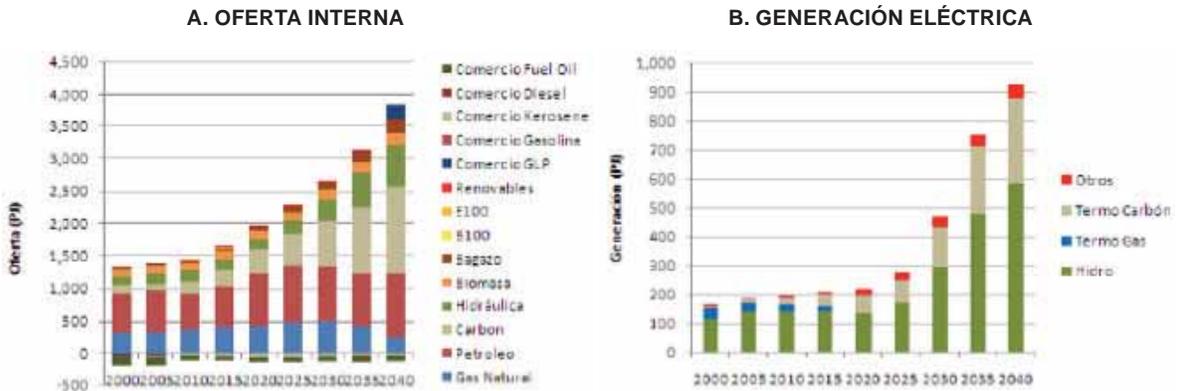


Fuente: Cadena y otros (2009).

d) Proyección de la canasta óptima de energéticos

En esta sección se presenta la proyección de la canasta óptima de energéticos para el escenario medio descrito anteriormente. En el gráfico 32 se presenta la proyección de la oferta interna de energía por fuente así como la composición de los energéticos para la generación de la energía eléctrica.

**GRÁFICO 32
PROYECCIÓN DE LA OFERTA INTERNA DE ENERGÍA POR FUENTE
Y GENERACIÓN DE ENERGÍA PARA EL PERIODO 2000 - 2040**



Fuente: Cadena, y otros (2009).

La oferta interna tiene un crecimiento promedio interanual de 2,98%. En el gráfico 32 se puede observar una mayor participación de carbón y una menor de gas natural durante el periodo de proyección motivada por la disponibilidad de reservas de gas natural, las cuales son destinadas a los usos calóricos en los sectores residencial, comercial y transporte. Esta tendencia se ve reflejada en los energéticos para la generación de energía eléctrica donde se mantiene la mayor proporción de generación con fuentes hídricas, seguida por la térmica con fuentes de carbón. Asimismo, en el escenario de proyección no se contempla la utilización de energías renovables alternativas diferentes a la quema de biomasa.

En el gráfico 33 se muestra la proyección de la demanda de energía por sectores. Los resultados presentados muestran un crecimiento en el uso del gas LP en el sector residencial, del gas natural en el sector comercial y del carbón en el sector industrial. Sin embargo, el uso del gas natural en los sectores residencial y comercial disminuye drásticamente al final del periodo debido a restricciones de reservas. En el sector transporte, se observa una penetración de los biocombustibles (etanol y biodiesel) en los primeros años hasta la mitad del periodo, donde es reemplazado parcialmente por diesel y posteriormente energía eléctrica.

**GRÁFICO 33
DEMANDA DE ENERGÍA PROYECTADA POR SECTORES PARA EL PERIODO 2000 - 2040**

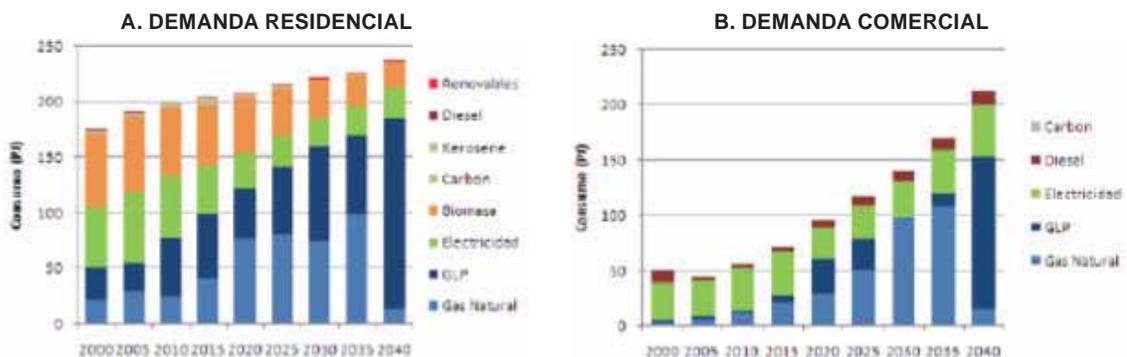
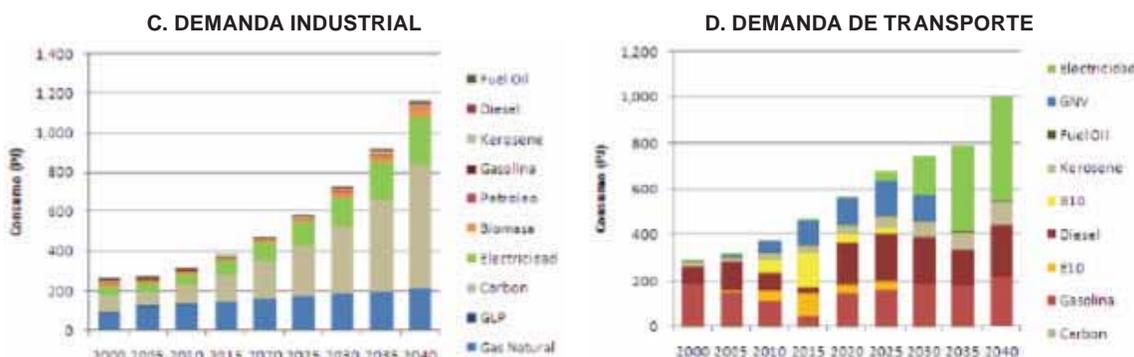


Gráfico 33 (conclusión)



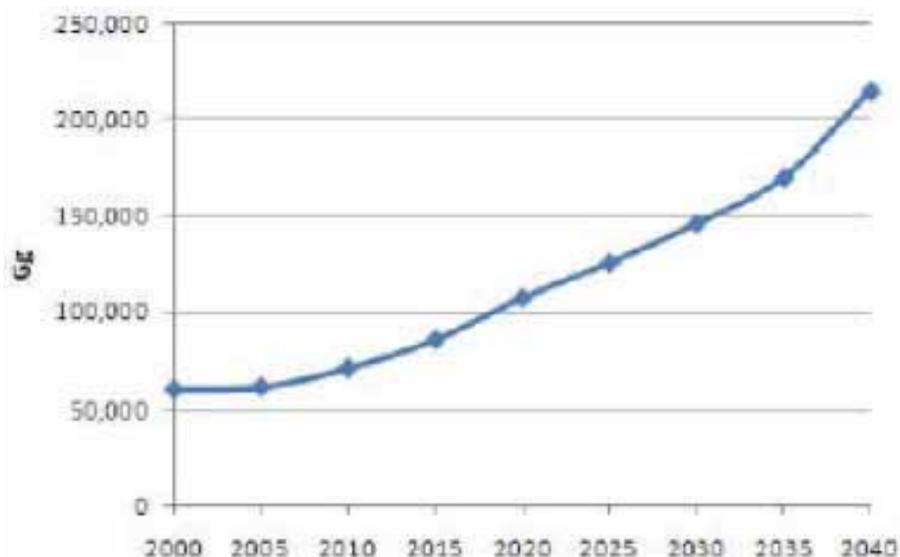
Fuente: Cadena y otros (2009).

e) Proyección de emisiones del Sector

Con los resultados de la canasta óptima, se calculó las emisiones por quema de combustibles fósiles durante el periodo de análisis. Los cálculos no consideran las emisiones de CO₂ por quema de leña ni biomasa.

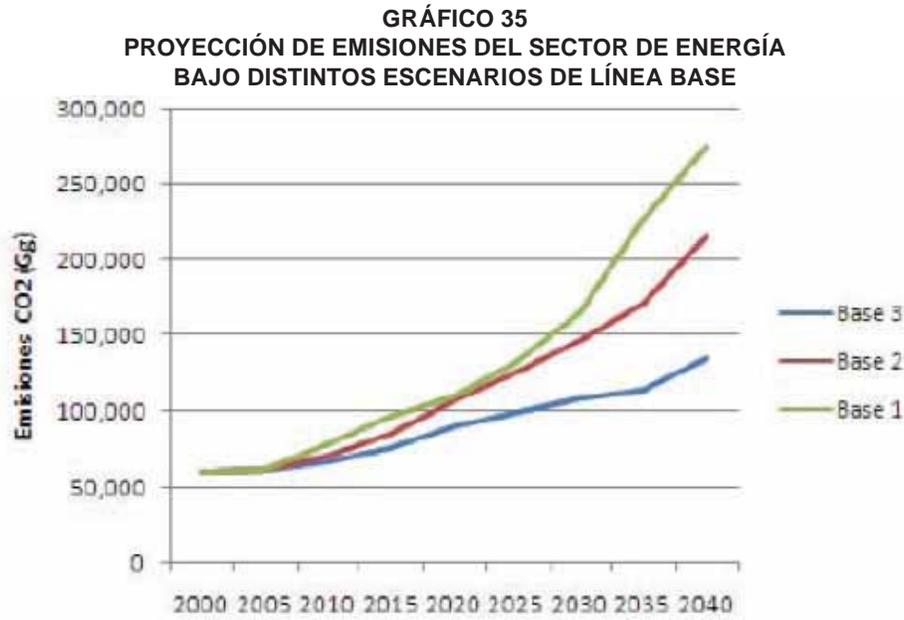
El gráfico 34 muestra los resultados de proyección de emisiones. Las emisiones resultantes del escenario energético seleccionado aumentan de 60,310 Gg de CO₂ en el 2000 a 125,568 Gg de CO₂ en 2025 y 215,320 Gg de CO₂ en el 2040, lo que arroja una tasa de crecimiento interanual promedio del 2,97% en los primeros 25 años y del 3,23% en los 40 años del horizonte de análisis (tomando como base las emisiones de 2000).

GRÁFICO 34
PROYECCIÓN DE EMISIONES DEL SECTOR DE ENERGÍA – QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES



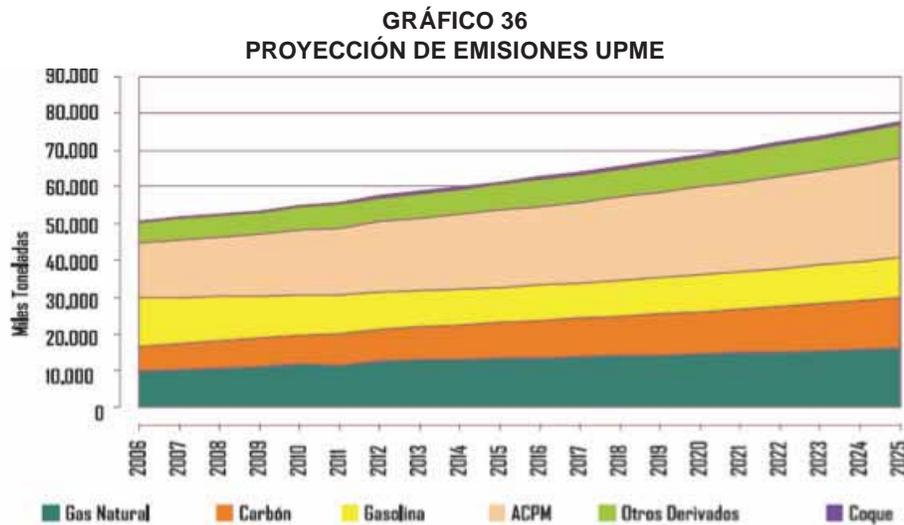
Fuente: Cadena y otros, 2009.

Los resultados anteriores corresponden al escenario medio descrito en el apartado VI.A.2. En el gráfico 35 se muestran las emisiones para cada uno de los escenarios de línea base. Este gráfico muestra una gran sensibilidad de los resultados en el largo plazo dependiendo del escenario base utilizado.



Fuente: Cadena y otros, 2009.

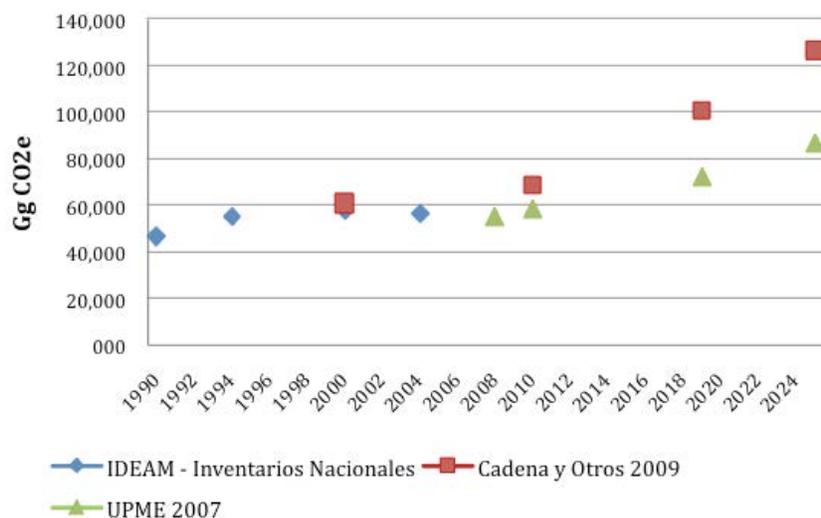
Por último, se presenta la proyección de emisiones realizada por la UPME para el periodo 2006-2025, bajo su escenario base.



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) - Ministerio de Minas y Energía (2006).

Aunque las proyecciones de la UPME solo contemplan las emisiones de CO₂, los niveles se ubican por debajo del escenario bajo de Cadena y otros (2009). La diferencia radica en que la UPME proyecta una menor participación de carbón y una mayor utilización de Diesel (ACPM). El gráfico 37 compara las dos estimaciones sectoriales.

GRÁFICO 37
COMPARACIÓN DE DISTINTAS APROXIMACIONES DE LA PROYECCIÓN DE EMISIONES EN COLOMBIA, SECTOR QUEMA COMBUSTIBLES FÓSILES



Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas en el gráfico..

f) Sector Agropecuario

En esta sección se presenta la estimación de las emisiones del sector agropecuario elaborada por la Corporación Ecovera para el periodo 2005-2019 (SDA - Corporación Ecovera 2009).

Para estimar las emisiones de línea base del sector, se tomó el documento de planeación de largo plazo denominado “Visión Colombia 2019” elaborado por el DNP (2006b). En dicho documento se establecieron metas de crecimiento para el sector en términos de aumento de la producción y área. Los porcentajes de aumento en los sectores pecuario y agrícola fueron tomados como base para proyectar el crecimiento de las variables de actividad utilizadas para el cálculo de las emisiones en el inventario. El cuadro 19 muestra los porcentajes de crecimiento utilizados.

CUADRO 19
METAS DE CRECIMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO PARA EL 2019

	2005	2010	Porcentaje ^a	2019	Porcentaje ^a	Variable de Actividad
Área cosechada agrícola	3 962 761	4 138 360	4	4 750 245	20	Área cosechada de arroz
Producción agrícola	24 164 096	27 207 420	13	36 112 041	49	Consumo de fertilizante, producción de leguminosas, producción de otros cultivos
Producción pecuaria	3 069 609	3 683 612	20	6 084 642	98	Cabezas de ganado

Fuente: DNP (2011).

^a Porcentaje de variación con respecto al nivel de 2005.

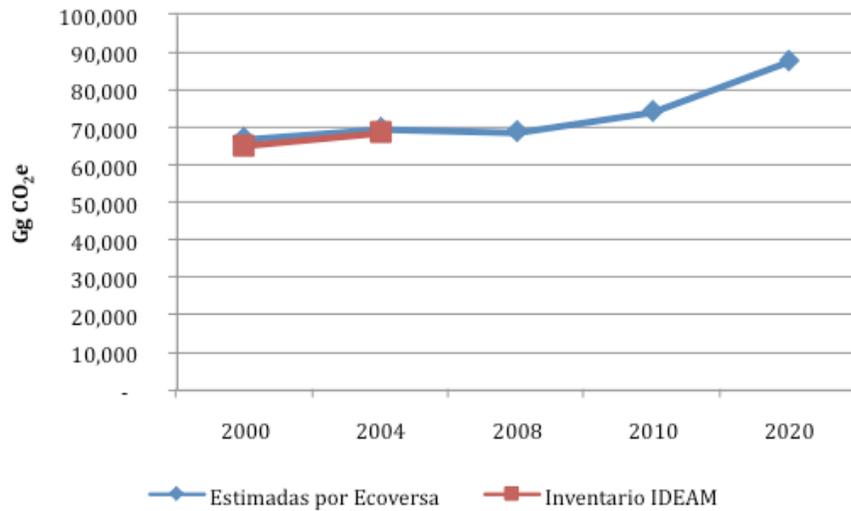
Es necesario tener en cuenta que una mayor producción no solamente se alcanza con crecimiento en área o número de animales; sino también por mejoras en la eficiencia y productividad. Por lo tanto, se asumió²⁴ que el 30% del porcentaje de incremento de la tabla anterior era alcanzar por medio de un mayor nivel de actividad; mientras que el 70% restante se alcanzaría con mejoras en eficiencia.

²⁴ Este porcentaje se tomó del comportamiento de la producción agrícola durante el periodo 2007-2008, que en términos de producción anual creció el 6% mientras que en área cultivada sólo creció el 2% durante este periodo.

Para poder realizar la proyección de las emisiones fue necesario reconstruir los cálculos del inventario nacional en sus principales fuentes de emisión. Aunque esta estimación no coincidió exactamente con los niveles reportados por el IDEAM, sí dieron resultados cercanos permitiendo utilizar el modelo para la proyección de emisiones BAU. Para las fuentes de emisión relacionadas con cultivos en suelos de histosoles, quemas de sabanas y quemas de residuos, se mantuvo constante las emisiones a los niveles reportados por el inventario para el año 2004. El resto de las fuentes fueron proyectadas con el procedimiento descrito anteriormente y siguiendo los lineamientos metodológicos del IPCC (1996).

El gráfico 38 muestra las emisiones de línea base para el sector agropecuario.

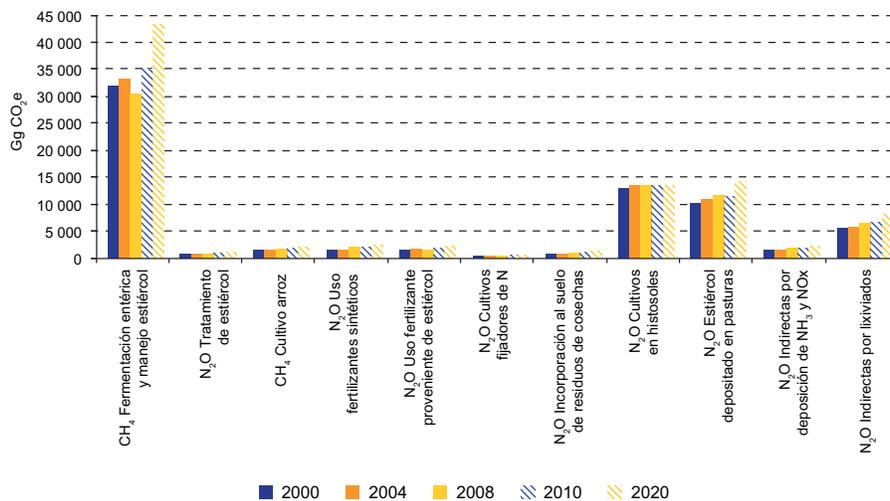
GRÁFICO 38
EMISIONES DE LÍNEA BASE PARA EL SECTOR AGROPECUARIO EN COLOMBIA



Fuente: SDA - Corporación Ecovera, (2009).

En el gráfico 39 se desglosa las emisiones de línea base por tipos de fuentes de emisión.

GRÁFICO 39
EMISIONES DE LÍNEA BASE POR FUENTE EN EL SECTOR AGROPECUARIO



Fuente: SDA - Corporación Ecovera, 2009.

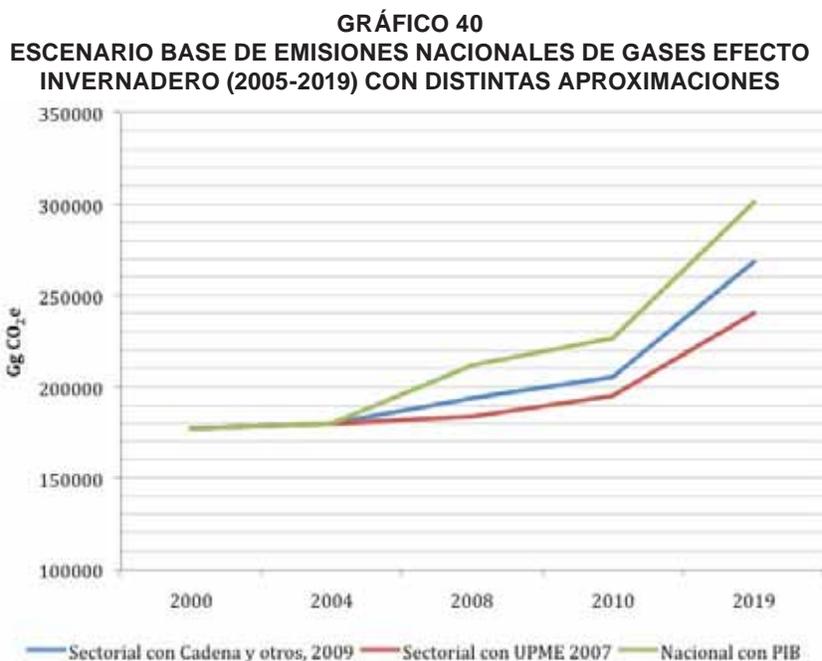
En el gráfico 39 se puede observar que las principales emisiones del sector corresponden a emisiones de metano por la fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado vacuno. Dichas emisiones tendrán un comportamiento creciente de acuerdo con la meta de crecimiento en la productividad del sector pecuario. Las demás fuentes importantes son las relacionadas con emisiones de cultivos en suelos de histosoles, las cuales permanecen constantes debido a que dichos suelos son limitados; y las emisiones de N_2O por el estiércol depositado en pasturas, que siguen un comportamiento similar al de la ganadería.

g) Agregación de emisiones para las estimaciones sectoriales

A continuación se presenta la agregación de las estimaciones sectoriales presentadas anteriormente y su comparación con la aproximación nacional con base en el PIB.

Teniendo en cuenta que no existen proyecciones para todas las categorías de fuentes de emisión del inventario nacional, las categorías faltantes fueron proyectadas utilizando como motor de crecimiento los PIB de los sectores de manufactura (procesos industriales), minero-energético (Emisiones Fugitivas) y agua y alcantarillado (Residuos) proyectados por el MEG4C. La categoría de cambio de usos del suelo se proyectó constante debido a las grandes incertidumbres con respecto al comportamiento de la deforestación futura y la ausencia de modelos predictivos de esta fuente.

El gráfico 40 presenta los resultados de la agregación y su comparación con la estimación con base en el PIB.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el gráfico 40, la línea base proyectada con coeficientes de emisión por producto interno bruto resulta en un límite superior de los escenarios de línea base. Por otra parte, las proyecciones sectoriales basadas en las estimaciones de Unidad de Planeación Minero Energética - Ministerio de Minas y Energía (2006), resultan en el rango inferior, dada la conservación de la proporción de la canasta energética; mientras que las proyecciones con base en (Cadena y otros, 2009), dan emisiones superiores al de la UPME debido a la mayor utilización del carbón como energético. Por último, las emisiones del sector agropecuario realizadas por (SDA - Corporación Ecoversa 2009), también resultan en una menor emisión que la proyección con el PIB debido a que incorpora una parte del crecimiento de la producción con mayor eficiencia sin implicar mayor área cultivada o expansión de la población ganadera.

B. Opciones y costos de los procesos de mitigación del cambio climático: curva de costos de abatimiento a precios de carbón o costos estándar

En esta sección se presentan las opciones y costos de mitigación en los sectores de energía, agricultura y cambio de uso del suelo, con base en los estudios de Cadena y otros (2009) para el sector de la energía; y SDA - Corporación Ecovera (2009) para el sector de agricultura y cambio de uso del suelo.

1. Opciones de Mitigación en Sector de Energía

El estudio de Cadena y otros (2009) analizó algunas opciones de reducción en el sector de quema de combustibles fósiles. La evaluación del potencial de mitigación se realizó utilizando el modelo MARKAL con el escenario medio presentado en la sección anterior como escenario base. A partir de los resultados del estudio, se presenta el siguiente cuadro que describe la medida de mitigación, la cantidad total de reducción durante el periodo analizado y su costo por tonelada de CO₂ reducida.

CUADRO 20
OPCIONES DE MITIGACIÓN EVALUADAS PARA EL SECTOR
DE QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN COLOMBIA

Nombre	Descripción	Reducción total (MTon CO ₂)	Costo Total (millones dólares)	Periodo (años)	Reducción anual (MTon CO ₂)	Dólares/Ton CO ₂
Reducción sobreoferta buses públicos urbanos	Eliminar sobreoferta de buses urbanos del transporte público colectivo, disminuyendo demanda en 30% a partir del año 2010	40,79	-2 300	20	2,04	-56,39
Aumento en ocupación de vehículos particulares	Aumentar la ocupación base de 1.5 pasajeros por vehículo, para reducir la demanda de vehículos en 5% en el 2010 hasta 50% en el 2040	80,15	-4 199	30	2,67	-52,39
Iluminación Eficiente Doméstico	Restringir la utilización de bombillos incandescentes en los sectores residencial urbano y rural a partir del año 2010; sustituyendo la demanda con bombillos electrónicos y fluorescentes.	24,8	-1 201	30	0,83	-48,43
Eficiencia motores eléctricos industriales	Aumentar eficiencia en 10% de los motores eléctricos con respecto a eficiencia actual	11,47	-512	30	0,38	-44,64
Iluminación Eficiente Comercial	Restringir la utilización de bombillos incandescentes en el comercio a partir del año 2010; sustituyendo la demanda con bombillos electrónicos y fluorescentes.	8,61	-358	30	0,29	-41,58
Vehículos livianos eléctricos	Penetración con vehículos eléctricos del 30% de la demanda de vehículos livianos de pasajeros en el año 2020 hasta 40% en el 2030.	29,7	15	30	0,99	0,51
Reducción uso de leña para cocción	Disminución leña y carbón de leña para cocción en sector rural a 10% de la demanda en el 2040 (en el 2005 el 65% de la demanda se suple con estas fuentes). Sustitución de la demanda con GLP.	32,41	69	30	1,08	2,13
Calderas industriales eficientes	Aumentar eficiencia en 10% de las calderas industriales con respecto a eficiencia actual	37,6	134	20	1,88	3,56
Reemplazo calderas de carbón por gas	Sustitución del 20% del consumo de las calderas que utilizan carbón por gas natural	90,35	1 390	30	3,01	15,38

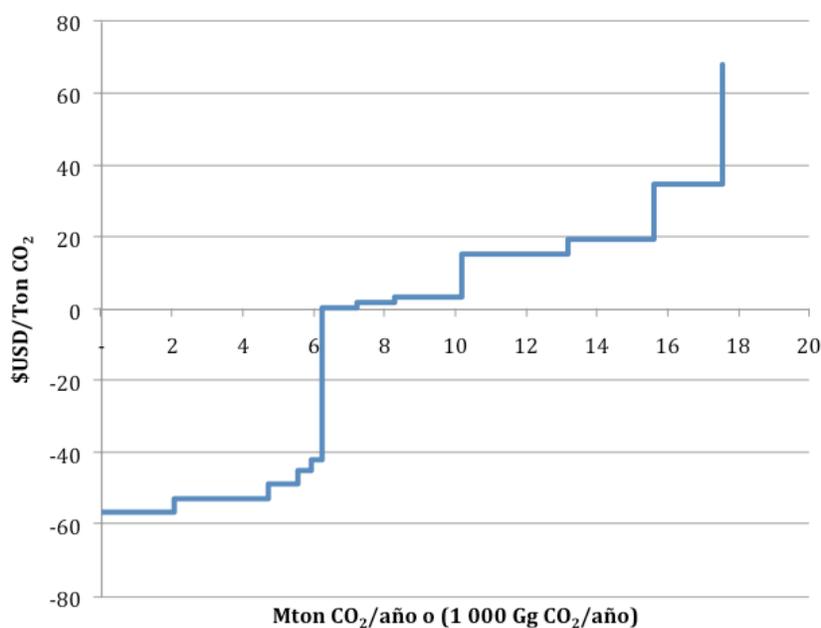
(continúa)

Cuadro 20 (conclusión)

Nombre	Descripción	Reducción total (Mton CO ₂)	Costo Total (millones dólares)	Periodo (años)	Reducción anual (Mton CO ₂)	Dólares/Ton CO ₂
MIX 1 de energía renovable en la red	Aumento de la participación de energía renovable en generación eléctrica con aumento gradual desde 1,5% en 2010 a 7,5% (2200 MW) en 2040. MIX 1: 35% Eólico, 25% Geotérmico, 30% PCH, 5% Solar y 5% Biomasa	73,17	1 426	30	2,44	19,49
Uso biocombustibles en buses y vehículos livianos	50% de buses utilizan biodiesel al 10%; y 50% de vehículos livianos biogasolina al 10%. Escenario base biodiesel al 5% y biogasolina al 10% en algunas ciudades.	37,91	1 331	20	1,90	35,11
Calentadores solares de agua en residencias	Penetración de los calentadores de agua solares empezando con un 1% de la demanda en 2010 y terminando con el 10% en el 2040	0,78	29,5	30	0,03	37,82
Transporte masivo eléctrico	Mitad de la demanda de transporte masivo con sistemas eléctricos a partir del 2010	0,37	14	30	0,01	37,84
Calentadores híbridos solar-gas de agua en residencias	Penetración de los calentadores de agua híbridos (solar y gas) empezando con un 1% de la demanda en 2010 y terminando con el 10% en el 2041	0,22	15	20	0,01	68,18

Fuente: Cadena, y otros, 2009

GRÁFICO 41
CURVA DE COSTOS MARGINALES DE REDUCCIÓN EN EL SECTOR DE ENERGÍA



Fuente: Basado en Cadena y otros (2009).

Como se puede apreciar en el cuadro 20, las medidas relacionadas con mejoras en eficiencias tienen costos negativos que representan ahorros netos por implementarlas. Estas medidas incluyen la mejor utilización del parque automotor, iluminación eficiente y mejora en equipos industriales. Otras medidas tienen costos de reducción por debajo de los 20 dólares/ton CO₂ que podrían ser considerados de bajo costo o competitivos en el mercado de carbono. Estas opciones incluyen cambios de combustibles en calderas, reducción del uso de leña para cocción y la utilización de energías renovables en la generación

eléctrica. Por último, también se identificaron opciones con altos costos de reducción que incluyen calentadores de agua solares o híbridos, buses eléctricos y biocombustibles.

A partir de la anterior información, Cadena y otros (2009) construyó una curva de costos marginales de reducción para un periodo de 30 años. Para efectos de comparabilidad entre las medidas que tienen diferentes periodos de análisis, a continuación se presenta la curva de costos marginales anualizada, es decir, con el promedio de reducción anual de cada alternativa durante su periodo de implementación

La totalidad de las medidas analizadas tienen un potencial de reducción de hasta 17,5 millones de toneladas anuales de CO₂e o 17.500 Gg de CO₂e. Esta reducción representa el 10% de las emisiones nacionales en el 2005 y el 31% de las emisiones del sector de quema de combustibles fósiles en el mismo año.

2. Opciones de Mitigación en otros estudios para el Sector de Agropecuario y Transporte

El estudio elaborado por (SDA - Corporación Ecoversa 2009) para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial tuvo como objetivo evaluar las opciones de mitigación bajo un enfoque programático en los sectores agropecuario, transporte y vertimientos de aguas residuales domésticas. A continuación se presentan los resultados del estudio para los sectores agropecuario y transporte. No se incluyeron los resultados del sector de aguas residuales debido a que, por faltantes de información, el estudio no pudo analizar la totalidad del sector y sus resultados no son representativos.

a) Sector Agropecuario

El análisis partió de la información de los inventarios oficiales de gases efecto invernadero y actualizó la información para calcular las emisiones del sector agropecuario a 2008 y proyectarla a los años 2010 y 2020. El resultado de este ejercicio permitió proyectar las emisiones sectoriales de 69.474 Gg en el 2004 a 87.558 Gg en el 2020. Asimismo, el citado estudio evaluó el potencial de mitigación de los siguientes programas:

- Promoción de sistemas silvopastoriles (combinación de árboles y ganado). Este programa se evaluó para implementar los sistemas en 25.000 ha en 5 años.
- Racionalización de uso de fertilizantes sintéticos en cultivos agrícolas. El programa evaluado se enfoca en lograr una reducción del 20% en la aplicación de fertilizantes en los cultivos de papa, arroz y algodón.

El cuadro 21 muestra el potencial de reducción de los programas mencionados anteriormente. Los programas evaluados tienen un potencial de reducción de 19,37 Gg bajo la escala evaluada. A pesar que dicha reducción no es significativa comparada con las emisiones sectoriales los dos programas evaluados resultaron con utilidades netas y por lo tanto podrían ser sujetos a la financiación mediante créditos o recursos reembolsables y aumentar su escala para obtener mayores reducciones.

CUADRO 21
RESUMEN DE POTENCIALIDAD Y COSTOS DE LOS PROGRAMAS
DE REDUCCIÓN DE EMISIONES EN EL SECTOR AGRÍCOLA

	Programa de eficiencia en fertilización	Programa de sistemas silvopastoriles (duración de 5 años)
Potencial de mitigación (Gg CO ₂ e /año)	16,15	3,22
Costos estimados (dólares/año)	3 783 336	9 780 016

Fuente: Elaboración propia.

b) Sector Transporte

El análisis partió de la información de los inventarios oficiales de gases efecto invernadero y actualizó la información para calcular las emisiones del sector y proyectarla a los años 2010 y 2020. El resultado de este ejercicio permitió proyectar las emisiones sectoriales de 21,614 Gg en el 2004 y 33,171 Gg en el 2020. La principal fuente de información para realizar esta proyección fue la proyección de demanda energética realizada por la UPME.

Los potenciales programas de reducción de emisiones que se identificaron y cuantificaron en el análisis fueron:

- Sistemas de transporte masivo con buses articulados en ciudades con más de 600.000 habitantes;
- Mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles se incrementarían a partir del 2010 en Etanol al 15% y Biodiesel al 10%, y a partir del año 2020 serían Etanol al 20% y Biodiesel al 20%.
- Chatarrización y reposición de 15.000 vehículos de carga (Camiones C2);

El cuadro 22 muestra el potencial de reducción de los programas en el sector transporte. La reducción de emisiones resultó significativa principalmente en el programa de transporte masivo y de mezcla en biocombustibles. La mitigación agregada de estos dos programas es de 12.566 Gg CO₂e por año equivalente al 5% de las emisiones nacionales proyectadas a 2020.

CUADRO 22
POTENCIALIDAD Y COSTOS DE LOS PROGRAMAS DE REDUCCIÓN
DE EMISIONES EN EL SECTOR TRANSPORTE

	Sistemas de transporte masivo - ciudades > 600.000 habitantes	Aumento del porcentaje mezcla biocombustibles - combustibles fósiles	Chatarrización y reposición de vehículos de carga
Potencial de mitigación (Gg CO ₂ e /año)	8 166	4 400	38,25
Costos estimados ^a (dólares)	1 099 115 498	65 625 000	1 618 779

Fuente: Elaboración propia.

^a Los costos del sistema de transporte masivo corresponden a la inversión pública de los sistemas (compra de predios, reasentamientos, construcción de troncales, estaciones etc.), no incluye los costos asumidos por los agentes privados. Los costos de biocombustibles corresponden al ingreso fiscal que se deja de percibir por exención de impuestos con relación al Aceite Combustible para Motores (ACPM) y la gasolina. Los costos de chatarrización corresponden al incentivo que otorga el gobierno (Resolución 4160 de 2008) para la reposición de los vehículos de carga.

VII. Síntesis de la valuación del cambio climático en el país

A. Análisis de los costos económicos de impactos

Este estudio valoró directamente dos tipos de impactos esperados del cambio climático: el impacto en la productividad agropecuaria y pesquera y el impacto sobre ecosistemas naturales. Asimismo, el estudio recopiló la información disponible sobre ejercicios de valoración de otros impactos del cambio climático, particularmente los relacionados con el daño a viviendas por aumento en el nivel del mar en Cartagena y Tumaco, el aumento en morbilidad por malaria y dengue, y los impactos en los costos de energía por la vulnerabilidad de la generación hidroeléctrica.

A pesar de que dicho ejercicio no comprende la totalidad de los impactos esperados del cambio climático en la economía nacional, es posible adelantar las siguientes conclusiones:

Los resultados de los ejercicios de valoración sugieren impactos importantes en la generación hidroeléctrica y en la producción agropecuaria. En el primer caso, la valoración realizada es muy preliminar pero dada su magnitud se justificaría profundizar el análisis de costos de generación de energía eléctrica dada la alta proporción hidroeléctrica del sistema de interconexión nacional y los incrementos en costos que se generan cuando se presenta el fenómeno del Niño. Por otra parte, la valoración de costos del cambio climático en la producción agrícola abarcó 5 cultivos importantes para el país (maíz, arroz, palma de aceite, caña de azúcar y banano).

Es necesario complementar el ejercicio anterior para incluir impactos sobre otros cultivos con extensiones importantes en el país como café, papa, caña panelera, frijol y sorgo con el fin de obtener una estimación comprensiva de los impactos agrícolas. Teniendo en cuenta la limitación del ejercicio, se observa que los costos para la economía del impacto del cambio climático sobre el sector agropecuario alcanzan el 1% del PIB del 2050 y superan el 2% en el año 2100, y desagregando por sectores alcanzarían una reducción en el año 2100 hasta del 50% del PIB agrícola y del PIB pecuario y prácticamente una reducción total del PIB pesquero. Los impactos esperados en el sector de alimentos manufacturados también son significativos alcanzando costos del 20% del PIB sectorial con respecto al escenario tendencial.

En cuanto a la valoración de los impactos en los ecosistemas naturales, los resultados subestiman los costos reales debido a que no hay retroalimentación al sistema económico. Se estima una pérdida significativa de cobertura de los páramos y bosques andinos del 60% y 20% en el 2050 respectivamente; el costo llegaría a representar el 0,07% del PIB del 2050.

El valor de los impactos estimados por daños a las viviendas en Cartagena y Tumaco por ascenso del nivel del mar fue estimado en 930 millones de dólares o el 0,15% del PIB en el 2050. Este costo es conservador debido a que sólo considera las viviendas que actualmente se encuentran localizadas en las áreas susceptibles de ser inundadas por el incremento del nivel del mar. Adicional a los daños a las viviendas en otras zonas inundables de los litorales Caribe y Pacífico, se requiere cuantificar los daños por eventos extremos y los daños a la infraestructura y al turismo. Este último podría ser significativo dado la creciente participación del sector en el PIB nacional.

Por último, la valoración del impacto del aumento en morbilidad de la malaria y el dengue por el cambio climático es bajo comparado con los demás sectores, explicado tanto por la dificultad de relacionar los impactos con los factores socioeconómicos de la incidencia de estas enfermedades, como por la no inclusión de los costos de mortalidad en el análisis. Otros impactos que deberían incluirse en un estudio comprensivo se relacionan con la disponibilidad hídrica para consumo doméstico e industrial.

De forma agregada, los anteriores impactos del cambio climático, asumiendo que no se implementan medidas de adaptación, ascienden a 1,71% del PIB del 2050 o el 5,44% del PIB de 2007. Se concluye que aunque Colombia ha avanzado en la cuantificación de los impactos, todavía no cuenta con una estimación sobre el costo para la economía que podría traer el cambio climático global en los sistemas naturales y socioeconómicos. Sin embargo, los resultados parciales a la fecha indican que éstos podrían estar en el orden de un dígito porcentual del PIB en el 2050.

B. Medidas de adaptación

Colombia ha avanzado en el diseño e implementación de medidas de adaptación piloto al cambio climático, en especial con los proyectos financiados a través del GEF.

Por otra parte, el proyecto Integrado Nacional de Adaptación Piloto- INAP financiado por el GEF, además de diseñar, se encuentra implementando medidas de adaptación en cuatro áreas vulnerables identificadas por la Comunicación Nacional: Incremento de morbilidad de malaria y dengue, ecosistemas de alta montaña y zonas insulares del Caribe Colombiano. Para el caso del incremento de morbilidad en malaria y dengue, las medidas de adaptación se concentran en el diseño de un sistema de alerta temprana para la vigilancia y control de dichas enfermedades que utilice variables climáticas para activar las alertas. Aunque el proyecto cubre 12 municipios endémicos, la medida puede fácilmente escalarse a la totalidad de municipios vulnerables a este impacto. El costo del diseño e implementación piloto de la medida es de 6,1 millones de dólares para los 5 años del proyecto. Con respecto a las medidas de adaptación en ecosistemas de alta montaña, el INAP incluye la planeación y manejo de los ecosistemas, la planificación adaptativa del uso del suelo para la reducción de los impactos del cambio climático y la degradación del suelo, y el mejoramiento de la productividad de los agroecosistemas para disminuir su

vulnerabilidad socioeconómica a los impactos del cambio climático. Las medidas de este componente se encuentran enfocadas a nivel de microcuenca y por lo tanto no se ve factible su réplica directa en otras regiones con ecosistemas similares. El costo de estas medidas de adaptación es de 4,3 millones de dólares para un periodo de implementación de 5 años.

Por último, el componente de zonas insulares del Caribe trabaja en el diseño e implementación de medidas de adaptación por disminución en disponibilidad hídrica en San Andrés con sistemas de recolección de aguas lluvias y el soporte a la implementación de las áreas marinas protegidas en San Andrés, Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte, además del fortalecimiento de los sistemas de monitoreo del aumento del nivel del mar. Las anteriores medidas piloto tienen un costo de 3,5 millones de dólares y también son implementadas en un periodo de 5 años.

Adicionalmente a las anteriores experiencias, se encuentran iniciando ejecución un proyecto de adaptación para el Macizo Colombiano (Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano) que se enfoca en el diseño de medidas de adaptación con comunidades indígenas y campesinas vulnerables en dicha región de Colombia, así como el apoyo de medidas de política a nivel nacional, incluyendo el Plan Hídrico Nacional.

Las anteriores medidas y proyectos han sido implementados de forma dispersa y sin tener una orientación general o una política que permita evaluar los avances nacionales en la adaptación al cambio climático. Los costos del diseño e implementación a nivel piloto de medidas de adaptación han sido bajos, sin embargo, los beneficios de las medidas también han sido limitados, con excepción de las medidas de adaptación en el sector salud. El ejercicio realizado por el INVEMAR de diseño de medidas para la adaptación al ascenso del nivel del mar, muestra costos significativos (469 millones de dólares por año) o el 0,2% del PIB de 2007, que aunque corresponde a la mitad de los costos calculados por el daño de viviendas en Cartagena y Tumaco, hacen más urgente el tener una política para la evaluación e implementación de medidas de adaptación tanto de política como de infraestructura.

C. Mitigación del cambio climático

En el área de mitigación, este estudio encontró que existe información que permite proyectar las emisiones de gases efecto invernadero agregada y en distintos sectores, con excepción de las emisiones por cambio en el uso del suelo y forestería. Este estudio trabajó con las proyecciones de emisiones del sector energético por quema de combustibles fósiles. Las emisiones resultantes indican un aumento de 60.310 Gg de CO₂ en el 2000 a 125.568 Gg de CO₂ en 2025 y 215.320 Gg de CO₂ en el 2040, lo que arroja una tasa de crecimiento interanual promedio del 2,97% en los primeros 25 años y del 3,23% en los 40 años del horizonte de análisis (tomando como base las emisiones de 2000). En consecuencia, las emisiones del sector energético se duplicarían en el 2025 con respecto a sus niveles del 2000. Por otra parte, las emisiones del sector agropecuario con base en otro estudio (SDA - Corporación Ecoverva, 2009) muestran que se incrementarían desde 65.169 Gg de CO₂e en el 2000 a 87.557 Gg en el 2019, equivalente a un aumento del 34%.

De forma agregada y sin incrementar las emisiones por deforestación, se prevé que las emisiones nacionales pasen de 177.575 Gg de CO₂e en el 2000 a un rango entre 240.000 a 300.000 Gg de CO₂e en el 2019, equivalente a un incremento aproximado del 50% durante el periodo.

Este estudio también permitió evaluar el costo-eficiencia de algunas opciones de mitigación para el sector energético. La totalidad de las medidas de mitigación evaluadas tienen un potencial de reducción de 17.500 Gg de CO₂e por año, equivalente al 10% de las emisiones del año 2000 o al 7% de las emisiones proyectadas en el 2019. Sin embargo, el costo-efectividad de dichas medidas varía sustancialmente desde opciones que generarían ahorros netos de hasta 50 dólares/Ton CO₂e reducida, hasta medidas con costos del orden de 68 dólares/Ton CO₂e reducida. Las medidas de mayor costo-eficiencia evaluadas incluyen la

reducción de la oferta de buses públicos urbanos, aumento en ocupación de vehículos particulares, mejora de eficiencia en motores eléctricos industriales y reducción de uso de leña para cocción.

Otro estudio (SDA - Corporación Ecoversa, 2009) evaluó medidas de mitigación en los sectores agropecuarios y de transporte. Las medidas con mayor potencial de mitigación corresponden a la implementación de los sistemas de transporte masivos mediante buses articulados y el incremento en el uso de los biocombustibles. Estas alternativas, aunque con costos muy superiores en comparación con los potenciales ingresos por venta de carbono, podrían alcanzar una reducción de hasta el 5% de las emisiones nacionales proyectadas al 2020.

VIII. Estrategias de cambio climático en el país

A. El contexto internacional y la estrategia nacional

En Colombia cada cuatro años se expide un Plan Nacional de Desarrollo (PND), el cual constituye un instrumento legal por medio del cual se dan a conocer los objetivos de gobierno del presidente del país y su gestión y además, permite evaluar sus resultados. En el último Plan Nacional de Desarrollo 2006 - 2010 hay un capítulo ambiental que contempla como uno de sus lineamientos la adopción mediante el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), de una política nacional de cambio climático que definirá el marco institucional necesario para coordinar las acciones que en ella se propongan, así como de un plan integral de acción en este tema.

De la misma forma, invita a todas las instituciones y sectores con competencia en el tema a que participen en la elaboración participativa de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. En específico para el sector agropecuario, el Plan menciona que se adelantarán actividades relacionadas con el desarrollo y evaluación de aseguramiento para el manejo del riesgo fiscal de la Nación ante desastres naturales de origen climático.

En el marco de los mercados de carbono, el PND menciona que se promocionarán las opciones de reducción de emisiones de GEI y se fortalecerá el portafolio de proyectos de reducciones de emisiones. Asimismo, se implementarán estrategias para superar las barreras (técnicas,

comerciales, institucionales, jurídicas y financieras) que limitan la formulación de estos proyectos en los sectores o actividades con mayor impacto en el desarrollo nacional.

Colombia tiene una relativa amplia trayectoria de trabajo en el tema de cambio climático. En 1992 el país aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), ratificada mediante la expedición de la Ley 164 de 1994 con el ánimo de buscar alternativas que le permitieran adelantar acciones para abordar la problemática en el país.

En el año 2000 Colombia aprobó el Protocolo de Kyoto mediante Ley 629 y se emprendieron en el país una serie de iniciativas para aprovechar las oportunidades que ofrecen los mecanismos flexibles de este Protocolo, específicamente el mecanismo de desarrollo limpio (MDL).

De igual manera en el año 2000, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) coordinó la elaboración de una Estrategia Nacional para la implementación del mecanismo de desarrollo limpio en Colombia que tenía por objetivos evaluar el potencial frente al nuevo mercado, identificar las restricciones y desarrollar estrategias para superarlas, así como para promover los beneficios potenciales para el país.

En el año 2001 Colombia presentó su Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la CMNUCC, publicación coordinada por el IDEAM. Esta publicación analizó y expuso el inventario nacional de GEI para los años 1990 y 1994 y los primeros avances en posibles medidas de adaptación.

Posteriormente, el MMA y el DNP elaboraron en el 2002, los Lineamientos de Política de Cambio Climático aprobados por el Consejo Nacional Ambiental (CNA), los cuales esbozan las principales estrategias para la mitigación y adaptación al fenómeno de acuerdo con la CMNUCC, el Protocolo de Kyoto y la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. En el 2003 el MMA cambia su denominación a MAVDT y esta entidad es designada como Autoridad Nacional Designada de acuerdo a los requisitos del Protocolo de Kyoto. Asimismo se crea en el MAVDT la Oficina Nacional de Cambio Climático que en el año 2005 se transforma en el Grupo de Mitigación de Cambio Climático.

En el 2003 se aprueba el CONPES 3242 “Estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático” y en el 2004 el MAVDT expide las resoluciones 0453 y 0454. La primera tiene por objetivo adoptar principios, requisitos y criterios y establecer el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al mecanismo de desarrollo limpio. La segunda tiene por objetivo regular el funcionamiento del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático (CTIMCC) del CNA.

En cuanto a los incentivos tributarios y financieros, la Ley 788 de 2002 establece en su artículo 18 la exención de renta por un periodo de quince años por la venta de energía eléctrica con base en los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas realizada únicamente por las empresas generadoras, siempre y cuando el proyecto genere y venda *Certified Emission Reductions* (CERs) y destine a obras de beneficio social el 50% de los recursos obtenidos por este concepto. Adicionalmente, el artículo 95 de esta misma ley determina que la importación de maquinaria y equipos destinados a proyectos que generen CERs estará exenta de IVA (reglamentada por la Resolución 1242 de 2006 y Resolución 978 de 2007).

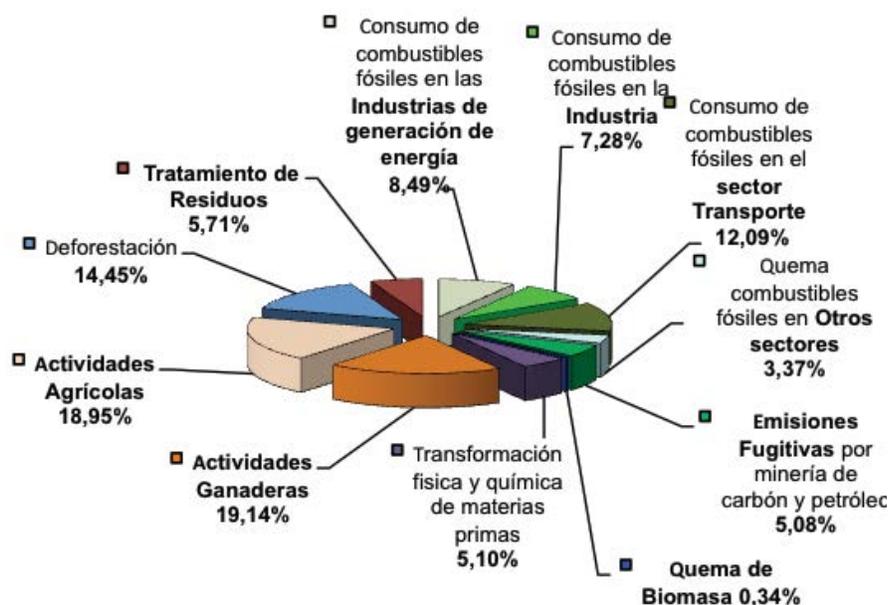
Actualmente se está trabajando en la elaboración de una Política Nacional de Cambio Climático la cual será adoptada por CONPES (anteriormente esta política era adoptada por una Comisión Nacional Ambiental). Esta política buscará responder de una manera dinámica, flexible e integrada a los retos que el cambio climático impone. Dentro de esta política se formularán estrategias de adaptación y mitigación y también se definirá el arreglo institucional necesario para que por medio de estudios y del fortalecimiento de las instituciones relevantes en temas de información se logre incorporar el tema de cambio climático en las decisiones de política del país. De igual manera se manejará un componente transversal de educación, formación y sensibilización frente a la misma temática para fortalecer la acción participativa dentro de este proceso.

B. Potenciales criterios para la identificación de metas de mitigación

Los resultados presentados en este estudio permiten esbozar algunos lineamientos y recomendaciones para el diseño de estrategias nacionales de mitigación de gases efecto invernadero.

En primer lugar, es importante partir de la estructura y naturaleza de las diferentes fuentes de emisión que conforman las emisiones nacionales de gases efecto invernadero. A diferencia de otros países, Colombia tiene bajos niveles de emisión debido a que su generación eléctrica se basa en grandes centrales hidroeléctricas. Esto hace que tanto el potencial de emisión directa en el sector sea bajo, y que otras medidas de eficiencia energética también produzcan bajos niveles de mitigación. Por otra parte, otros sectores que contribuyen significativamente a las emisiones son el sector transporte, agropecuario y la deforestación, como se muestra en el gráfico 42.

GRÁFICO 42
PARTICIPACIÓN DE LOS DISTINTOS SECTORES EN LAS EMISIONES NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO PARA EL 2004



Fuente: Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 2000 – 2004.

Nota: Emisiones Totales: 180.010,57 Gg CO₂e.

Los tres sectores se caracterizan por la dispersión y atomización de las fuentes de emisión (vehículos y pequeñas fincas ganaderas) que dificultan la implementación de medidas de mitigación.

Asimismo, las medidas de mitigación con mayor costo/eficiencia identificadas en el estudio se basan en cambios de comportamiento (ej. aumento en ocupación de vehículos) o suponen el control de estas fuentes dispersas (ej. control de sobreoferta de transporte público).

Sin embargo, las proyecciones contenidas en este estudio indican que las emisiones nacionales aumentarán significativamente en los próximos años, con un aumento del 34% en el 2019 con respecto a las emisiones del año 2000 manteniendo la deforestación²⁵ constante. Este aumento se dará principalmente

²⁵ Al momento de la terminación de este estudio, el IDEAM anunció que la deforestación se había triplicado durante el periodo 2000 a 2007 llegando a 336.000 ha/año con respecto a la tasa reportada en el año 2000 de 101.000 ha/año. Desafortunadamente esta información no se pudo incluir en el estudio.

en el sector energético en donde se prevé una mayor utilización de carbón frente al gas, debido a costos y restricciones de disponibilidad y transporte.

Ante este panorama, se recomienda que la estrategia de mitigación nacional se concentre en la implementación efectiva de acciones de mitigación en los sectores de transporte, agropecuario y forestal mediante la incorporación de la variable de carbono a la planificación y los programas de desarrollo de estos sectores, particularmente:

- Sector Transporte: Sistemas de Transporte Masivo, Trenes de Cercanías, control de sobreoferta y chatarrización.
- Sector Agropecuario: Programas de reconversión ganadera y manejo de fertilizantes y fomento de biocombustibles.
- Sector ambiental: Control de la deforestación y programas de reforestación.

Por otra parte, se recomienda establecer incentivos dirigidos al sector industrial para el mejoramiento de la eficiencia energética. Dichos incentivos pueden ser económicos, o simplemente obligaciones de monitoreo, reporte y compromisos voluntarios de mejoramiento de eficiencia energética.

En el sector de generación de energía eléctrica, es importante diseñar esquemas compatibles tanto con la disminución de la vulnerabilidad como con la mitigación del cambio climático. Por lo tanto, se recomienda diseñar incentivos a la generación de energía con fuentes renovables distintas a las hidroeléctricas, con el fin de valorar el doble beneficio de mitigación y adaptación dentro del esquema actual del mercado de generación de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta el potencial de mitigación evaluado en este estudio, las metas de reducción podrían estar en el orden de 5% al 10% con respecto al escenario tendencial en el 2020 (BAU). Estas metas dependerán principalmente de la efectividad de estrategias en temas como control de la deforestación, aumento en uso de biocombustibles, eficiencia energética del sector industrial y programas en el sector de transporte.

C. Recomendaciones para las estrategias de adaptación

Este estudio presenta los resultados de ejercicios de valoración sobre impactos de la vulnerabilidad al cambio climático y el diseño de medidas de adaptación. Una de las primeras conclusiones es que se evidencia esfuerzos dispersos sobre diseño de medidas de adaptación que no permiten hacer un seguimiento ni evaluar los avances del país en su adaptación al cambio climático.

Por ello se recomienda incluir en el documento de política que actualmente se está formulando, la elaboración de un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Este Plan debe cubrir por lo menos los siguientes impactos que han sido identificados preliminarmente como prioritarios por varios estudios:

- Ascenso del nivel del mar
- Aumento de enfermedades de transmisión por vectores
- Modificación de productividad agrícola y seguridad alimentaria
- Alteración de ecosistemas
- Generación de energía hidroeléctrica
- Disponibilidad hídrica
- Gestión de riesgo y aumento de eventos extremos

Para cada una de las anteriores temáticas se recomienda incorporar los resultados de los estudios ya adelantados a la fecha y complementarlos para que cubran los siguientes aspectos:

- Evaluación de vulnerabilidad y costos económicos de los impactos expedidos por el cambio climático.
- Identificación y diseño preliminar de medidas de adaptación.
- Evaluación de los flujos de inversión y financieros requeridos para la adaptación.
- Evaluación de costo/efectividad de las medidas entendida como la disminución de la vulnerabilidad por peso invertido.
- Indicadores de seguimiento que permitan evaluar el progreso de la adaptación sectorial.

Es muy importante el desarrollo de indicadores de costo/efectividad y de seguimiento al progreso de la adaptación sectorial, ya que permitirá priorizar las medidas para ser presentadas a los fondos internacionales y evaluar el avance del Plan frente al desafío del cambio climático.

A nivel institucional, se propone que la Política designe a diversas entidades como responsables de elaborar los estudios temáticos del Plan Nacional de Adaptación.

CUADRO 23
PROPUESTA DE ENTIDADES RESPONSABLES EN LA ELABORACIÓN
DE LOS ESTUDIOS DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN

Temática/impacto	Entidad responsable	Soporte científico
Ascenso del nivel del mar	Ministerio de Ambiente/Ministerio de Defensa- Dirección General Marítima	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras- y Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas
Aumento de enfermedades	Ministerio de Protección Social	Instituto Nacional de Salud
Modificación de productividad agrícola y seguridad alimentaria	Ministerio de Agricultura	Centro Internacional de Agricultura Tropical / Corporación Colombia Internacional
Alteración de ecosistemas	Ministerio de Ambiente	Instituto Humboldt e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-
Disminución de la generación de energía hidroeléctrica	Ministerio de Minas	Unidad de Planeación Minero Energética, XM
Disponibilidad hídrica	Instituto de Hidrología	Meteorología y Estudios Ambientales
Gestión de riesgo y aumento de eventos extremos	Ministerio del Interior y de Justicia	

Fuente: Elaboración propia.

El IDEAM debería apoyar todos los capítulos con el objeto de estandarizar los escenarios del cambio climático utilizados por el análisis de vulnerabilidad entre sectores. Los capítulos guiarán la adaptación y priorización de las medidas de adaptación que se apoyen tanto con recursos nacionales e internacionales en cada sector.

La implementación de las medidas sectoriales se debería realizar mediante documentos CONPES que prioricen las medidas diseñadas, definan responsables de implementación y definan la financiación con presupuestos públicos, privados y provenientes de fondos internacionales. Los CONPES y en general el Plan Nacional de Adaptación deberá ser periódicamente evaluado tanto en su gestión como en la aplicación de los indicadores de evaluación y seguimiento propuestos en cada capítulo.

De esta forma, el país contará con un proceso de adaptación ordenado y podrá revisar periódicamente su adaptación o grado de vulnerabilidad al cambio climático.

IX. Recomendaciones de política pública hacia una economía baja en carbono y desarrollo sostenible de largo plazo

Colombia tiene un gran reto para lograr una economía baja en carbono de largo plazo, debido tanto a la dependencia económica de la explotación de carbón y petróleo, como a las dificultades anteriormente descritas para la reducción de emisiones en los sectores de transporte, agropecuario y forestal.

Las políticas de largo plazo que llevarán al país a una economía baja en carbono incluyen:

- La promoción de los biocombustibles con los más estrictos estándares ambientales. Esto podría cambiar significativamente las emisiones del sector transporte aumentando la productividad de las tierras agrícolas. Complementariamente, en el sector transporte se necesitarán de otras medidas que aumenten eficiencia y privilegien el uso del transporte público sobre el particular.
- La reducción de la deforestación y el aumento o regeneración de áreas degradadas. Las emisiones por deforestación representan el 14,4% de las emisiones nacionales y por lo tanto medidas y políticas efectivas para disminuir y eliminar dichas emisiones se requieren de manera prioritaria.
- Compatibilizar la explotación de combustibles fósiles con la economía baja en carbono. El país debe prepararse para una reducción significativa en sus exportaciones de carbón por

las medidas de mitigación que impongan los demás países, por lo tanto se requiere diseñar incentivos para dirigir parte de los ingresos o regalías de la explotación de carbón ya sea a la producción de energéticos sostenibles (biocombustibles) o a los recursos naturales renovables (plantaciones forestales). Iniciativas como las de “carbón verde” que buscan compensar parte de las emisiones del carbón explotado en el país mediante actividades de reforestación o mitigación, deberían tener la más alta prioridad en una estrategia de mitigación de largo plazo.

- Crear un sistema de incentivos dentro del mercado actual de energía, que reconozca los beneficios de las energías alternativas en la reducción de la vulnerabilidad y en la mitigación del cambio climático, para llevarnos a un mix de generación con una participación significativa de este tipo de energías.
- Mejorar la productividad y eficiencia de la ganadería en Colombia mediante estrategias que incentiven la mitigación de gases efecto invernadero como los sistemas silvopastoriles, mejoramientos de forrajes y utilización del metano del estiércol.

Estas cinco políticas de largo plazo apuntan a la reducción significativa de las emisiones de gases efecto invernadero en Colombia y a la vez compatibilizan programas de desarrollo de largo plazo que el país tiene contemplado como son las inversiones en el sector minero energético, el mejoramiento de la actividad ganadera, la producción y exportación de biocombustibles y el desarrollo del sector forestal.

Bibliografía

- Alterio, H. y J. Rivera (2010), *Análisis Costo Beneficio de las Medidas de Adaptación Implementadas en los Componentes A, B, C y D del Proyecto INAP*, Informe Final, Bogotá: Conservación Internacional - Banco Mundial.
- Arango, L.E., C.E. Posada y A. García (2007), "Inflación y desempleo en Colombia: NAIRU y tasa de desempleo compatible con alcanzar la meta de inflación (1984-2005)", Banco de la República - Borradores de Economía, n°. 453.
- Blanchard, O. y J.F. Jimeno (1999), "Reducing Spanish Unemployment under the EMU." Fundación de Estudios de Economía Aplicada - Documento de Trabajo, n°. 99-02.
- Blanco, J. (2008), *Agenda de Cambio Climático para Colombia -Análisis de los Beneficios Económicos*. Bogotá: Informe Final para el Banco Interamericano de Desarrollo.
- Blanco, J. y D. Hernández (2009), "The Potential Costs of Climate Change in Tropical Vector-Borne Diseases - A Case Study of Malaria and Dengue in Colombia", Vol. 32, in *Assesing the Potential Consequences of Climate Desestabilization in Latin America*, by Walter Vergara (Ed). Washignton: Latin America and Caribbean Region Sustainable Development - World Bank, Working Paper.
- Bourneaux, J. M., G. Nicoletti, y J. Oliveira-Martins (1992), "GREEN: A global model for quantifying the costs of policies to Curb CO₂ emissions", OECD Economic Studies.
- Bussolo, M., D. Holst, y D. Van der Mensbrugge (1998), "The Technical Specification of FEDESARROLLO's Long Run General Equilibrium Model", Bogotá: Fedesarrollo - Series Documento de Trabajo.
- Cadena, A. y otros (2009), "Colombia: Diagnóstico, Perspectivas y Lineamientos para definir estrategias posibles ante el Cambio Climático", Bogotá: Emgesa, Codensa y Universidad de los Andes.

- Chaparro, J. A., y O. Jaramillo (2002), “Impactos Socio Ambientales del Ascenso del Nivel del Mar en la Isla de San Andrés”, *Geo Praxis*, n°1, 70-74.
- Constanza, R. y H. Daly (1992), “Natural Capital and Sustainable Development”, *Conservation Biology*, n° 6.
- Constanza, R. y otros (1997), “The value of the world’s ecosystem services and natural capital.” *Nature*, n° 387.
- Corredor, D. y O. Pardo (2008), “Matrices de Contabilidad Social 2003, 2004 y 2005 para Colombia.” Departamento Nacional de Planeación, Archivos de Economía, n° 339.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) (s/f), [en línea] http://www.dane.gov.co/#twoj_fragment1-4.
- Departamento Nacional de Planeación – DNP (2011). “Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Prosperidad para todos.” Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Colombia. 2011.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación) (2009a), *Análisis de los Impactos Económicos del Cambio climático para Colombia utilizando un Modelo de Equilibrio General Computable*, Bogotá: Manuscrito.
- ____ (2009b), *Análisis de los Impactos Económicos del Cambio Climático sobre los Ecosistemas*. Bogotá: Manuscrito.
- ____ (2006a), *Metodología general ajustada, para la identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión*. Bogotá, Dirección de Inversión y Finanzas Públicas.
- ____ (2006b), *Visión Colombia 2019 - Aprovechar las posibilidades del campo*. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Department of Energy (2008), “Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the U.S. Government, 2008”, [en línea] <http://tonto.eia.doe.gov/dnav/ng/>
- Gómez, I.A. y G.C. Gallopin (1991), “Estimación de la productividad primaria neta de ecosistemas terrestres del mundo en relación a factores ambientales”, *Ecología Austral*, n° 1.
- Gubler, Duane J. (1998). Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Clinical Microbiology Reviews*, 11, 480–496.
- Hijmans, R. y otros (2005), “Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas”, *International Journal of Climatology*, n° 25.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) (2010), “2da Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. República de Colombia”, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, PNUD, Junio 2010, Bogotá, Colombia.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) (2008), *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Estudio Nacional del Agua, Relaciones de Demanda de Agua y Oferta Hídrica*, Bogotá, Imprenta Nacional de Colombia.
- IDEAM y otros (2007), *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*, Bogotá, Imprenta Nacional.
- IDEAM, y otros (2004), *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia*. Bogotá, Imprenta Nacional.
- IEA (International Energy Agency) (2009), *CO2 emissions from fuel combustion*. Paris: OECD/IEA.
- Instituto Alexander von Humboldt (1998), *El Bosque Seco Tropical (BS-T) en Colombia*, Bogotá, Colombia: Programa de Inventario de la Biodiversidad.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, (2001). “Colombia. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM, PNUD. Diciembre 2001. Colombia.
- ____ (2010). “ 2da Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. República de Colombia”. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, PNUD. Junio 2010. Bogotá, Colombia.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andreis”) (2003), *Colombia. 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 (Caribe continental, Caribe Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación*. Vol. VII Tomos, Resumen Ejecutivo y CD Atlas digital. Santa Marta, Colombia: Programa holandés de asistencia para estudios en cambio climático.

- _____ (2008), *Capacity Building to Improve Adaptability to Sea Level Rise in Two Vulnerable Points of the Colombian Coastal Areas (Tumaco-Pacific Coast and Cartagena-Caribbean Coast) with Special Emphasis on Human Population under Poverty Conditions*. Santa Marta, Colombia: Technical Report.
- _____ (2003), *Programa holandés de Asistencia para Estudios de Cambio Climático, Colombia: Definición de la Vulnerabilidad de los Sistemas Biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana y medidas para su adaptación*. Vols. VII Tomos, Resumen Ejecutivo y CD-Atlas digital. Santa Marta, Colombia: Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera GEZ.
- IDEAM (Instituto Nacional de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) (2010), *2ª Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá.
- _____ (2001), *Primera Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007), “Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment.” In *Climate Change: Synthesis Report*, by R K Pachauri, A Reisinger and (Eds), Gineva, Switzerland.
- _____ (2000), *Informe Especial del IPCC - Escenario de Emisiones*.
- _____ (1996), *Revised IPCC 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Jorgenson, D., R. Goettle y F. Smith (2004), *US Market Consequences of Global Climate Change*, Washington, Pew Center on Global Climate Change.
- Julio, J. (2001), “How uncertain are NAIRU estimates in Colombia?” Banco de la República- Borradores de Economía, n°. 184.
- Larsen, B. (2004), *Colombia - Cost of Environmental Damage: A Socio-economic and Environmental Health Risk Assessment*, Bogotá, Colombia, Final Report for the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development.
- Lutz W. (ed) (1996) “The Future Population of the World: What Can We Assume Today?.” International Institute for Applied System Analysis. Earthscan Publication Ltda. Londres, Edición Revisada 1996.
- Melillo, J.M. y otros (1999), “Global Climate Change and Terrestrial Net Primary Production.” *Nature*, n° 363.
- Pearce, D. y Turner, R. (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*. Baltimore, USA, John Hopkins University Press.
- Ramirez, J. y A. Jarvis (2008), *High Resolution Statistically Downscaled Future Climate Surfaces*, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), [en línea] <http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPPage>.
- SDA - Corporación Ecoversa (2009), *Aproximaciones Programáticas para el Futuro Mercado de Carbono*, Bogotá: Manuscrito.
- Stern, N. (2007), *El informe Stern: La Verdad del Cambio Climático*, Barcelona, España: Ediciones Paidós Ibérica S.A.
- UNEP (United Nations Environmental Programme) (2009), *Climate in Peril, A popular guide to the latest IPCC reports*, Norway, GRID-Arendal.
- Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2007). “Plan Energético Nacional 2006 – 2025. Contexto y Estrategias”. Dígitos & Diseños. Bogotá, Colombia. Abril 2007.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía) (2006), *Plan Energético Nacional. Contexto y Estrategias 2006-2025*, Bogotá.
- Yaozhong, P. S. y otros (2005), “Measurement of ecological capital of Chinese Terrestrial Ecosystem Based on Remote Sensing”, *Science in China Series D Earth Sciences*, 48, n° 6.
- XM (2007). “El Sector Eléctrico Colombiano y el Fenómeno del Pacífico”. Presentación del X Congreso Anual de Naturgas. Documento XM CND 2007 033. Marzo 2007.



Serie

CEPAL

medio ambiente y desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en
www.cepal.org/publicaciones

146. Panorama del cambio climático en Colombia. Javier Blanco (LC/L.3585), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
145. Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile. James McPhee, Eduardo Rubio, Rodrigo Meza, Álvaro Ayala (LC/L.3599), diciembre 2012. Email: erecc.lac@cepal.org.
144. Políticas Fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO2 en Chile. Carlos de Miguel, Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Bruno Carriquiry (LC/L.3434), diciembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
143. Financiamiento para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en un contexto de crisis: Indicadores para Chile. Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Carlos de Miguel (LC/L.3405), noviembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
142. Estimaciones de gasto social en vivienda y desarrollo urbano para algunos países de América Latina y el Caribe. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3169-P) N° de venta: S.09.II.G.142 marzo 2010. Email: Raquel.szalachman@cepal.org.
141. Gasto social en vivienda y desarrollo urbano. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3149-P), N° de venta: S.09.II.G.122, diciembre 2009. Email: Raquel.szalachman@cepal.org.
140. Síndrome holandés, regalías mineras y políticas de gobierno para un país dependiente de recursos naturales: el cobre en Chile. Mauricio Pereira, Andrés Ulloa, Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel (LC/L.3139-P), N° de venta: S.09.II.G.112, diciembre 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
139. Desenvolvimento redoviario e o impacto fiscal do sistema de concessões em Brasil. Ana Paula H.Higa (LC/L.3120-P), N° de venta: P.09.II.G.99, octubre 2009. Email: Ricardo.jordan@cepal.org.
138. Trade and Sustainable Development: Spatial Distribution of Trade Policies Impacts on Agriculture. Sergio Ludeña, Andrés Schuschny, Carlos de Miguel y José Durán. (LC/L.3048-P), N° de venta: E.09.II.G.50 (US\$ 10.00), junio 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
137. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. José Javier Gómez, Joseluis Samaniego, Mariana Antonissen (LC/L.2915-P), N° de venta: S.07.II.G.49 (US\$ 10.00), julio 2008. Email: jose.gomez@cepal.org.
136. Impactos económicos y sociales de shocks energéticos en Chile: un análisis de equilibrio general. Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira, Camilo Lagos (LC/L.2901-P), N° de venta: S.07.II.G.37 (US\$ 10.00), mayo 2008. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
135. Externalidades en proyectos urbanos: saneamiento de aguas servidas y del ferrocarril metropolitano en Santiago de Chile. Sergio Galilea, Mario Reyes, Camila Sanhueza (LC/L.2807-P), N° de venta: S.07.II.G.140 (US\$ 10.00), diciembre 2007. Email: Ricardo.jordan@cepal.org.

El lector interesado en adquirir números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, correo electrónico: publications@cepal.org.

Nombre:
 Actividad:
 Dirección:
 Código postal, ciudad, país:
 Tel.: Fax: E.mail:

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

146

DESARROLLO

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Series

C E P A L

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN
www.cepal.org