

*Análisis de los Impactos Económicos del Cambio Climático para Colombia utilizando un
Modelo de Equilibrio General Computable*

*Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible – Departamento Nacional de Planeación
Abril 2012*

Contenido

Introducción.....	2
1. Descripción del MEG4C	2
1.1 Estructura del MEG4C	3
1.2 Dinámica del MEG4C	6
1.3 Matriz de Contabilidad Social	6
1.4 Calibración del MEG4C	10
1.4.1 Calibración Dinámica.....	11
2. Ejercicio de Simulación con el MEG4C	12
2.1 Resultados de las Simulaciones.....	16
2.1.1 Análisis por Sectores	19
2.1.2 Ejercicio de Micro-simulaciones para evaluar el Impacto del CC en los Hogares.....	26
3. Comentarios Finales.....	34

Anexo 1. Balanceo por Medio de la Mínima Entropía Cruzada

Anexo 2. Modelo de Contabilidad del Crecimiento

Anexo 3. Dinámica Poblacional

Anexo 4. Gráficos del Efecto del CC sobre Distintos Sectores Productivos

Anexo 5. Caracterización del MEG4C: Propagación de Impactos y Sensibilidad

Introducción

En este documento se presenta una descripción, el avance y resultados preliminares del modelo de equilibrio general computable (MEGC) utilizado en el Estudio de Impactos Económicos de Cambio Climático para Colombia (EIECC), conocido como MEG4C. El documento se divide en las siguientes secciones: En la primera sección se realiza una descripción del MEG4C que incluye una presentación de la matriz de contabilidad social (MCS) utilizada en el modelo con una breve descripción de su construcción. En la segunda sección se presentan algunas simulaciones del modelo.

Los análisis de los impactos del cambio climático (CC) se dividen generalmente en tres dimensiones. La primera se encuentra constituida por las evidencias científicas y proyecciones de clima, unidas a los escenarios socio-económicos. La segunda es la que tiene que ver con adaptación, es decir la incidencia del clima sobre la población y la economía, y los costos que implicarán las acciones para afrontarlo. Por último, se encuentran las acciones de mitigación, es decir las posibilidades de reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y por ende la incidencia antropogénica sobre el clima.

En la literatura se encuentran dos aproximaciones para la evaluación de los efectos de CC: modelos “*bottom-up*”, que desagregan la economía (ó un sector) detalladamente y al final agregan los resultados individuales; y modelos “*top-down*”, los cuales son construidos, como su nombre lo indica, desde el nivel agregado y se desagregan hasta lo particular. Dentro de esta categoría se encuentran los MEGC. Un modelo de equilibrio general tiene la ventaja de analizar la incidencia de los sectores en la economía a través de sus interrelaciones. Por el contrario, en un modelo de equilibrio parcial solo se considera un mercado.

1. Descripción del MEG4C

No existe una definición única de un MEGC, pero en general, este tipo de modelos reúnen una serie de características particulares. Una de estas características es que se construyen a partir de los datos económicos de un año particular para un país o una serie de países o regiones; esta información se puede tener a nivel agregado o a nivel sectorial. La MCS representa la base de datos utilizada por los modelos multisectoriales. Esta matriz es un marco contable que describe los flujos de ingresos y gastos al interior de una economía.

El tipo de problema a tratar, esto es, encontrar diferentes alternativas de política para la adaptación o mitigación de los impactos de las emisiones de GEI, presenta diferentes implicaciones en la construcción de los datos del modelo. La primera es que el modelo debe tener algún grado de detalle en el aspecto de demanda y oferta de energía. Otra de las implicaciones es el horizonte temporal del modelo ya que es necesario que exista una acumulación de *stocks*

(capital) para que se puedan observar las implicaciones del CC sobre la economía. De esta manera, en el caso de simulaciones de políticas comerciales o tributarias, el horizonte temporal puede ser de años o un par de décadas; por el contrario, para el caso de análisis de política ambiental estos efectos pueden tomar décadas o incluso un siglo en el futuro. Por estas razones el MEG4C se basa en el modelo GREEN (“General Equilibrium Environmental Model”, por sus siglas en inglés) desarrollado por la OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) para cuantificar los efectos de políticas para las reducción de emisiones de gas carbónico. El GREEN se presenta detalladamente en Bourneaux, Nicoletti, y Martins (1992)¹.

La tecnología del MEG4C asume el supuesto de 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. Adicionalmente 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.

Adicionalmente, este tipo de modelos se enfocan en el lado real de la economía, por tanto no incluyen activos financieros. De esta manera el MEGC determina endógenamente los precios relativos de factores y productos y la tasa de cambio real, pero no determina los precios absolutos o la tasa de cambio nominal.

1.1 Estructura del MEG4C

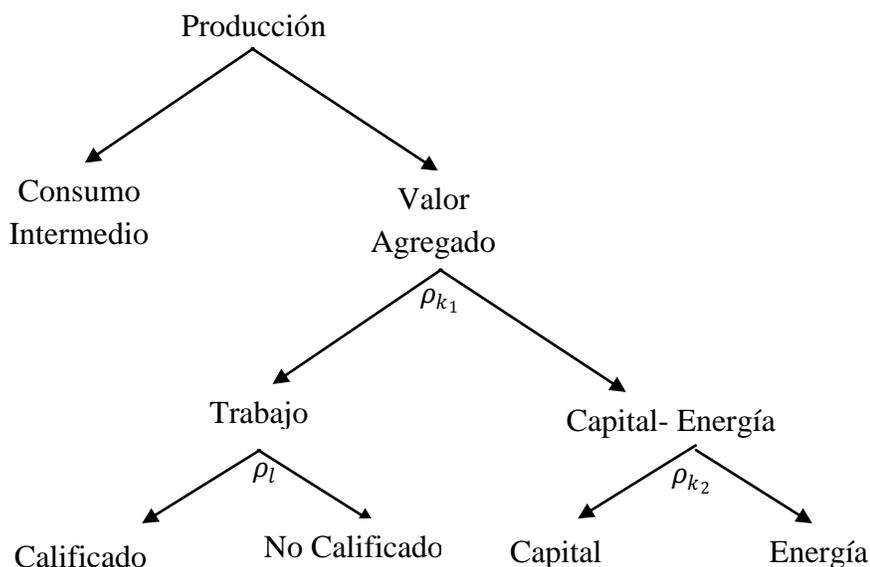
El modelo MEG4C tiene una estructura de producción descrita por la Ilustración 1. Este modelo considera que no existe sustitución entre el consumo intermedio, y el valor agregado. Lo anterior implica que las diferentes actividades productivas están sujetas a funciones de producción de coeficientes fijos que no responden a cambios en los precios.

De otra parte, se asume que el trabajo y la canasta de capital-energía son sustitutos imperfectos, es así como estos dos factores se combinan mediante una forma funcional de elasticidad de sustitución constante (*CES* por sus siglas en inglés). 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 los dos tipos de trabajo que contempla el modelo, calificado y no calificado. En ambos casos 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. Para ambos tipos de trabajo se asume un desempleo estructural de 7,5%.

¹ En Colombia, modelos similares se han usado, por ejemplo, Bussolo, Holst, y van der Mensbrugge (1998).

Ilustración 1. Esquema de Producción del MEG4C



Fuente: SDAS-DNP

El comercio se modela de forma estándar. En el caso de las exportaciones se considera que el bien doméstico y el bien exportado están diferenciados por características tecnológicas, calidad, etc., o bien por la existencia de costos de creación de mercados externos, y en general por costos de transformación de un producto en otro. En la medida en que la diferenciación de productos sea mayor, mayores serán los costos de transformación. La capacidad para sustituir o transformar el bien doméstico en bien exportado o viceversa está representado por una Función de Elasticidad de Transformación Constante (*CET*, por sus siglas en inglés). La decisión del productor entre exportar o vender en el mercado interno puede, de esta manera, ser representado como un problema de maximización de los beneficios generados en ambos mercados sujetos a la función de transformación descrita a continuación:

$$Y_i = [\psi_i^D D_i^{1+\eta} + (1 - \psi_i^D) E_i^{1+\eta}]^{\frac{1}{1+\eta}} \quad (1)$$

El subíndice i indica que la función es para un sector en particular, Y es el nivel de producción, D es el bien doméstico y E son las exportaciones. El parámetro ψ^D es la participación del bien doméstico dentro de la producción del sector y η es la elasticidad de transformación.

La modelación de las importaciones sigue el tratamiento desarrollado por Armington (1969). En este enfoque la conducta optimizadora del consumidor se representa como un proceso de optimización en dos etapas. En la primera etapa el consumidor maximiza la utilidad que puede obtener del consumo de una canasta de bienes compuestos dados los precios de cada uno de los bienes y su restricción presupuestaria. Por “bien compuesto” (A) se denota una agregación entre

el bien doméstico y el bien importado (M) los cuales son sustitutos imperfectos entre sí (véase ecuación 2). El carácter de la relación entre ambos bienes es evidente en la segunda etapa del proceso de optimización en la cual el consumidor minimiza el costo de adquirir la canasta óptima de bienes compuestos (aquella que maximiza su utilidad), a través de la escogencia del componente importado y del componente doméstico.

$$A_i = \left[\omega_i M_i^{1-\frac{1}{\sigma}} + (1 - \omega_i) D_i^{1+\frac{1}{\sigma}} \right]^{1/(1+\frac{1}{\sigma})} \quad (2)$$

Los parámetros ω y σ son respectivamente, la participación de las importaciones dentro del bien compuesto y la elasticidad Armington.

En este proceso de minimización de costos intervienen dos factores principales: en primer lugar, el precio del bien importado y del bien doméstico, y en segundo lugar el grado de sustituibilidad entre uno y otro (σ). Dicho grado de sustitución refleja el grado de diferenciación que existe entre ambos bienes, representado formalmente por una función *CES*.

El consumo final de los hogares se modela a través de un único hogar representativo que maximiza la siguiente función de utilidad:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & U = \sum_i \mu_i \ln(C_i - \theta_i) + \mu_s \ln\left(\frac{S}{P}\right) & (3) \\ \text{Sujeto a} \quad & \sum_i PC_i C_i + S = YD \\ & \mu_i + \mu_s = 1 \end{aligned}$$

Donde C_i representa el consumo del bien i , S es el ahorro del hogar, P es el índice de precios al consumidor, PC_i es el precio sectorial del consumo y YD es el ingreso disponible. Los parámetros μ y θ corresponden a los parámetros usuales de las funciones *ELES* (extended linear expenditure system). Para estimar estos parámetros se debe contar con el gasto de los hogares y el ingreso disponible en el año base, la proporción marginal a consumir y los precios al consumidor.

Los rubros correspondientes a la distribución secundaria del ingreso, tales como: intereses, dividendos, contribuciones, prestaciones y otras transferencias, se agrupan en una única cuenta de transferencias. Esta cuenta recibe todos los egresos (o empleos) de recursos por este concepto por parte de todas las instituciones, y posteriormente entrega a las instituciones los correspondientes ingresos. La distribución porcentual de las transferencias se considera fija y se toma de las cuentas nacionales.

En cuanto al gobierno, éste obtiene su ingreso a partir de los impuestos directos (a los hogares y

empresas) e indirectos (IVA, aranceles, a la producción). En el caso de los subsidios, éstos entran como un impuesto negativo. De otra parte el gobierno gasta una parte en consumo (gasto público) y transferencias a las instituciones (hogares, empresas y resto del mundo), por tanto el ahorro del gobierno es igual a la diferencia entre el ingreso y el gasto de éste lo cual es igual al déficit o superávit fiscal del modelo. En el MEG4C el ahorro del gobierno se modela exógenamente, lo anterior implica que las tasas de impuestos se ajustan endógenamente para obtener el ahorro del gobierno.

En el cierre del modelo se considera que el ahorro conduce a la inversión, esto es, dado un nivel de ahorro de la economía, se fija el nivel de la inversión para cada uno de los períodos. Finalmente, se considera que el balance en cuenta corriente es ajustado mediante la tasa de cambio.

1.2 Dinámica del MEG4C²

El modelo cuenta con dos *vintages* de capital que corresponden a *capital nuevo* y *viejo*. Éstos se diferencian en que, el viejo es capital instalado desde el periodo anterior y el nuevo es generado por la inversión (que se asume igual al ahorro) en el periodo previo.

La ecuación de acumulación del capital es:

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_{t-1} \quad (4)$$

Donde K_t es el *stock* agregado de capital, δ es la tasa de depreciación anual, e I_{t-1} es la tasa de inversión real en el período previo.

1.3 Matriz de Contabilidad Social

Una MCS captura los flujos económicos entre todos los sectores de la economía de acuerdo la estructura propia del modelo. La estructura general de una MCS se presenta a continuación:

² La dinámica del modelo sigue a la del modelo GREEN, para más detalles véase Bourneaux, Nicoletti, y Martins (1992) o Beghin, Roland-Holst, y van der Mensbrugge (2002).

Ilustración 2. Estructura general de una MCS

		←	j	→	←	d	→	Total
		1	...	N	1	...	D	
↑	1							\bar{y}_1
i	⋮		$\bar{\mathbf{X}}$			$\bar{\mathbf{G}}$		⋮
↓	N							\bar{y}_N
↑	1							\bar{V}_1
f	⋮		$\bar{\mathbf{V}}$					⋮
↓	F							\bar{V}_F
			$\bar{\mathbf{T}}^Y$					\bar{T}^Y
Total	\bar{y}_1	...	\bar{y}_N	\bar{G}_1	...	\bar{G}_D		

Fuente: (Wing, 2004)

Donde los índices i y j indican el conjunto de *commodities* y los sectores de la industria respectivamente, f enumera los factores (capital y trabajo en este caso) y d las demandas finales. $\bar{\mathbf{X}}$ es la matriz insumo producto de los sectores, $\bar{\mathbf{V}}$ la matriz de insumo de factores, $\bar{\mathbf{G}}$ la matriz de uso de *commodities* de las actividades de demanda final (consumo, ahorro e inversión) y $\bar{\mathbf{T}}^Y$ representa los impuestos a la producción.

Una MCS es un marco contable que describe los flujos de ingresos y gastos de los actores institucionales³ dentro de una economía. En esta matriz cada celda representa el pago de la cuenta de una columna a la cuenta de una fila. Si definimos \mathbf{T} la matriz de transacciones, donde $t_{i,j}$ es un pago de la cuenta de la columna j a la cuenta de la fila i , se debe cumplir la siguiente igualdad:

$$y_i = \sum_j t_{i,j} = \sum_j t_{j,i} \quad (5)$$

Lo anterior implica que los gastos y los ingresos de cada uno de los actores deben ser iguales (la matriz está equilibrada). Con el objetivo de interpretar las componentes como probabilidades, a partir de \mathbf{T} se construye una matriz de coeficientes \mathbf{A} , cuyas componentes estarán dadas por:

$$a_{i,j} = \frac{t_{i,j}}{y_j} \quad (6)$$

De igual manera debe cumplirse la siguiente restricción relacionada con el PIB:

³ Empresas, hogares, gobierno y resto del mundo.

$$\text{Consumo} + \text{Inversión} + \text{Exportaciones} - \text{Importaciones} = \text{Remuneración a factores} + \text{Impuestos indirectos} + \text{Aranceles}$$

Para el MEG4C se tomó como base la MCS de 2005 construida por Corredor y Pardo (2008). Esta matriz consta de 57 sectores económicos, seis tipos diferentes de trabajo⁴ 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 (

Cuadro 1).

Cuadro 1. Agregación sectorial del MEG4C

Acronimo en el MEG4C	Sector en el MEG4C	Sector en cuentas nacionales
agrop	Agropecuario	Café sin tostar no descafeinado Otros productos agrícolas
livest	Ganadería	Animales vivos y productos animales
forest	Silvicultura	Productos de silvicultura y extracción de madera
Pesca	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
energe	Energía	Electricidad y gas de ciudad Productos de petróleo refinado; combustibles nucleares y productos de horno de coque;
Alim	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

⁴ 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.

		<p>Hilados e hilos; tejidos de fibras textiles incluso afelpados</p> <p>Artículos textiles (excepto prendas de vestir)</p> <p>Tejidos de punto o ganchillo; prendas de vestir.</p> <p>Cuero y productos de cuero; calzado.</p> <p>Productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables.</p> <p>Pasta de papel, papel y cartón</p> <p>Impresos y artículos análogos</p> <p>Productos químicos básicos y elaborados (excepto productos de plástico y caucho)</p> <p>Productos de caucho y productos plásticos.</p> <p>Vidrio y productos de vidrio y otros productos no metálicos n.c.p.</p> <p>Muebles; otros bienes transportables n.c.p.</p> <p>Desperdicios y desechos.</p> <p>Metales comunes y productos metálicos elaborados excluyendo maquinaria. y equipo</p>
maquin	Maquinaria	<p>Maquinaria para usos generales y especiales</p> <p>Otra maquinaria y suministro eléctrico</p> <p>Equipo de transporte</p>
constru	Construcción	<p>Trabajos de construcción y construcciones. Edificaciones</p> <p>Trabajos y obras de ingeniería civil</p>
comerc	Comercio	<p>Comercio</p> <p>Servicios de reparación de automotores y motocicletas, de artículos personales y domésticos.</p> <p>Servicios de hotelería y restaurante.</p>
transp	Transporte	<p>Servicios de transporte terrestre</p> <p>Servicios de transporte por agua.</p> <p>Servicios de transporte aéreo.</p> <p>Servicios de transporte complementarios y auxiliares.</p>
servic	Servicios	<p>Agua, alcantarillado, eliminación de desperdicios y servicios de saneamiento</p> <p>Servicios de correos y telecomunicaciones.</p> <p>Servicios de intermediación financiera y servicios conexos.</p> <p>Servicios inmobiliarios y alquiler de vivienda.</p> <p>Servicios a las empresas excepto servicios financieros e inmobiliarios</p> <p>Servicios Domésticos</p> <p>Servicios de enseñanza de mercado</p> <p>Servicios sociales y de salud de mercado</p> <p>Servicios de asociaciones y esparcimiento y otros servicios de mercado</p> <p>Servicios de administración pública y otros serv. para la</p>

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: SDAS-DNP

En muchas ocasiones la MCS calculada por medio de la información disponible o al hacer la agregación no cumple con la ecuación (5). Es así como existen diversos métodos denominados comúnmente de balanceo que permiten estimar la MCS a partir de una matriz que sí cumpla dicha condición. En el MEG4C se utilizó el método conocido como de mínima entropía cruzada. Este método 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 matrices⁵.

1.4 Calibración del MEG4C

La “calibración” es el proceso necesario para que el modelo sea capaz de reproducir los datos de un año base como una solución. En la práctica, dado el amplio uso de las funciones *CES* y *Cobb-Douglas* en los modelos aplicados, los parámetros “claves” del modelo son las elasticidades cuyos valores son requeridos antes del procedimiento de calibración.

Típicamente los MEGC requieren dos conjuntos de parámetros para su calibración. El primer grupo de parámetros proviene de la base cuantitativa que generalmente es una MCS y el segundo proviene de fuentes externas a la MCS.

A partir de la MCS se calculan todos aquellos parámetros relacionados con: (i) cantidades consumidas o utilizadas de bienes e insumos (como porcentaje o participación); (ii) cantidades exportadas e importadas; (iii) tasas de impuestos; (iv) proporción de ingresos de las instituciones según fuente; y (v) proporción de gastos de las instituciones según tipo de gasto.

El segundo conjunto de parámetros se encuentra conformado por las elasticidades. Una elasticidad es por definición la variación porcentual que una variable tiene como resultado de la variación porcentual de otra. Las elasticidades más comunes en este tipo de modelos son: la elasticidad de sustitución entre factores de producción, la elasticidad de sustitución entre bienes importados y bienes domésticos (Armington), la elasticidad de transformación de productos entre el mercado doméstico y el mercado externo y la elasticidad de demanda por exportaciones. Estas

⁵ Véase el Anexo 1 para una descripción más detallada del método de balanceo de mínima entropía cruzada.

elasticidades provienen de dos fuentes principalmente: estimaciones econométricas y calibración con base en comportamientos históricos. Los valores de las principales elasticidades utilizadas pueden consultarse en el cuadro 2.

Cuadro 2. Principales elasticidades del modelo⁶

	ρ_{k_1}	ρ_{k_2}	ρ_l	σ_w	σ_t	μ
Agrícola	0,12 (0,8)	0,01 (0,8)	0,5	3	3	0,8
Pecuario				3	3	0,8
Forestal				3	3	0,8
Pesca				3,5	3,5	0,8
Mineroenergético				3,5	3,5	0,9
Mineral				4	4	0,9
Energía				1,1	1,1	1
Alimentos				3	3	1,2
Manufacturas				3	3	0,9
Maquinaria				2,5	2,5	0,9
Construcción				1,1	1,1	1,2
Comercio				1,1	1,1	1,2
Transporte				1,1	1,1	1,2
Servicios				1,1	1,1	1,2

Para la realización del ejercicio con el MEG4C se utilizaron las elasticidades del modelo de Bourneaux, Nicoletti, & Oliveira-Martins (1992), las cuales han sido también usadas por Bussolo, Holst, & van der Mensbrugge (1998).

1.4.1 Calibración Dinámica

El modelo es calibrado con base en tasas exógenas de crecimiento de la población, fuerza de trabajo⁷ y productividades del capital y del trabajo. En el Cuadro 3 se presentan las variables

⁶ ρ_{k_1} es la elasticidad de sustitución entre trabajo y el paquete capital-energía (igual para todos los sectores), ρ_{k_2} es la elasticidad de sustitución entre capital y energía (igual para todos los sectores), ρ_l es la elasticidad de sustitución entre los dos tipos de trabajo (igual para todos los sectores), σ_w es la elasticidad Armington, σ_t es la elasticidad de transformación y μ es la elasticidad del ingreso. En los casos en los que aparece una cifra en paréntesis, ésta hace referencia al valor del parámetro para el vintage de capital nuevo, mientras que la que no está en paréntesis es el valor para el vintage de capital viejo.

⁷ Véase Anexo 3 para una detallada descripción de la proyección de la población.

exógenas y la fuente de donde se obtiene la información. Esta calibración es utilizada para construir el escenario BAU (“*business as usual*” por sus siglas en inglés). Este ejercicio se realizó en dos etapas. En la primera se realizó un ejercicio con un modelo de contabilidad del crecimiento⁸ 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.

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 MFMP hasta el 2019 y se asume constante hasta el 2100.
Gastos del gobierno	Tomada del MFMP hasta el 2019 y se asume constante hasta el 2100.
Déficit o superávit en cuenta corriente	Tomada del MFMP hasta el 2019 y se asume constante hasta el 2100.

* Véase Anexo 3

Fuente: SDAS-DNP

2. Ejercicio de Simulación con el MEG4C

En esta sección se presentan las simulaciones del modelo con CC. Como se mencionó anteriormente se construyó un BAU calibrado de acuerdo a los resultados de un modelo de contabilidad del crecimiento. Dado este crecimiento potencial del PIB, la estructura sectorial de la MCS del 2005 y las ecuaciones del MEG4C se obtiene una estructura sectorial recursivamente para cada uno de los períodos de la simulación del modelo.

⁸ Véase Anexo 2.

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

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

Para obtener el cambio en el rendimiento de los sectores se estimó una serie de regresiones que establecen una relación entre el sector y las variables climáticas (cuadro 4). Los datos de proyecciones anuales de temperatura y precipitación fueron suministrados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para el escenario A1B¹⁰ y por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para los escenarios A2 y B2¹¹.

Para la incorporación del CC 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, Agronet¹².

Cuadro 4. Regresiones sectoriales utilizadas para el cálculo del cambio en los rendimientos¹³

Sector	Regresión
Agrícola	$\Delta\text{Rend} = -0,0323 \cdot \Delta\text{Prec} - 0,016 \cdot (\Delta\text{Temp})^2$
Pecuario	$\Delta\text{Rend} = 0,207 \cdot \Delta\text{Prec} - 0,502 \cdot (\Delta\text{Prec})^2$

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

¹⁰ El escenario A1B se caracteriza por la utilización equilibrada de todo tipo de fuentes de energía entendiéndose por equilibrada la situación en que no se dependerá excesivamente de un solo tipo de fuente de energía.

¹¹ El escenario A2 describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte y desarrollo económico y cambio tecnológico lentos. El escenario B2 describe un planeta con una población y un crecimiento económico intermedios, más orientado a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

¹² Para mayor información véase el portal www.agronet.gov.co.

¹³ ΔRend hace referencia al cambio porcentual en el rendimiento del sector, ΔTemp al cambio porcentual en la temperatura promedio, ΔPrec al cambio porcentual en el nivel de las precipitaciones y ΔNM al cambio porcentual en el nivel del mar.

$$\text{Silvícola} \quad \Delta\text{Rend} = -0,078 \cdot \Delta\text{Prec} + 0,0055 \cdot \Delta\text{Temp}$$

$$\text{Pesca} \quad \Delta\text{Rend} = -0,007 \cdot (\Delta\text{NM})^2$$

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 cultivos¹⁴: 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.

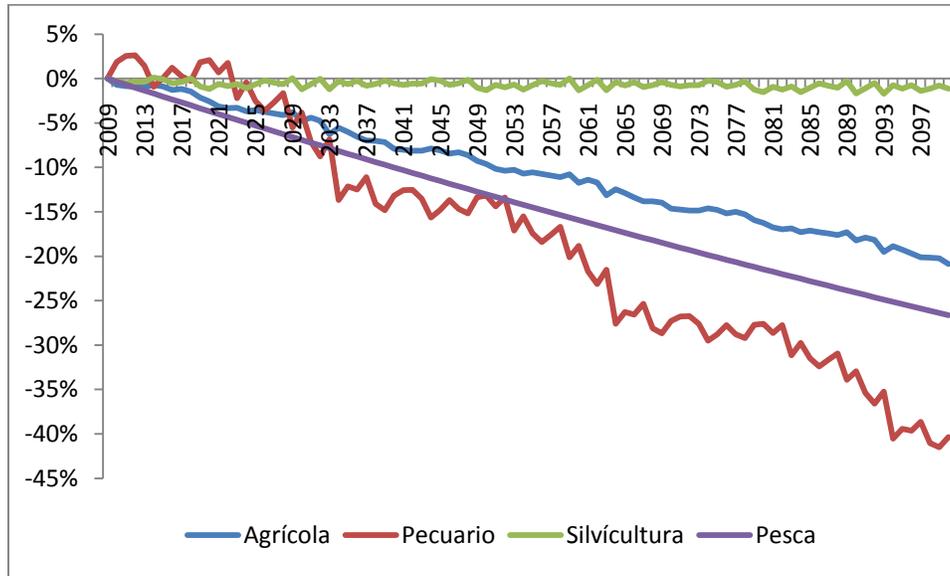
Finalmente, para los sectores de silvicultura y pesca se usaron las fórmulas del estudio (Jorgenson, Goettle y Smith 2004). Estas fórmulas cuantifican cambios en la productividad dados cambios en temperatura, precipitación y nivel del mar. En el estudio mencionado se presentan fórmulas optimistas y pesimistas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

El gráfico 1 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 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%.

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 $ak_{e,j}$), los cuales determinan cuánto se demanda de bienes intermedios ($X_{ap_{i,j}}$) y del paquete Capital-Energía-Trabajo (KEL_j) por unidad de producto (X_{p_j}).

¹⁴ El criterio para escoger los cultivos fue el valor de la producción del cultivo sobre el total de la producción del país.

Gráfico 1. Cambios porcentuales en los rendimientos de los sectores debido al CC



La ecuación (9) 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 (8), 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.

$$Xp_j = \min \left\{ \frac{Xap_{1,j}}{a_{1,j}}, \frac{Xap_{2,j}}{a_{2,j}}, \dots, \frac{Xap_{n,j}}{a_{n,j}}, \frac{KEL_j}{akel_j} \right\} \quad (7)^{15}$$

$$Xp_j = \frac{Xap_{i,j}}{a_{i,j}}, \quad Xp_j = \frac{KEL_j}{akel_j} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (8)$$

¹⁵ Esta forma funcional es conocida en la literatura como función de producción tipo Leontieff y específica que la relación producto a consumo de bienes intermedios y 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.

$$a_{i,j}^{CC} = \frac{a_{i,j}^{EB}}{1 + \Delta Rend_j}, \quad a_{kel_j}^{CC} = \frac{a_{kel_j}^{EB}}{1 + \Delta Rend_j} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (9)$$

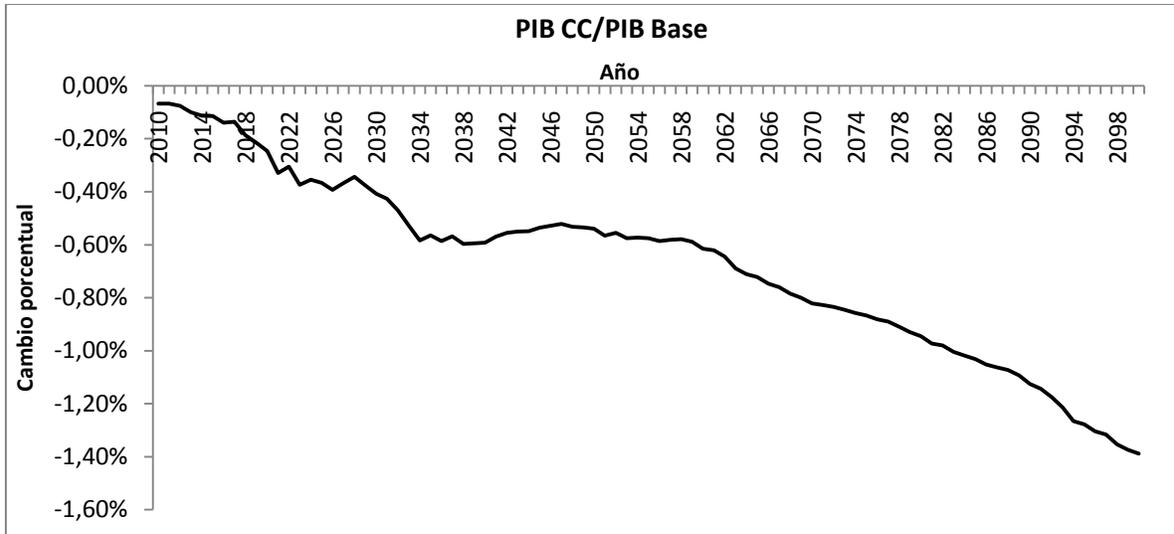
2.1 Resultados de las Simulaciones

La medida que se utilizó para analizar los impactos de CC fue el cambio porcentual del PIB potencial con CC respecto al PIB potencial del BAU, tanto a nivel sectorial como para toda la economía. Para la simulación, se incluyeron en los coeficientes de la función *Leontieff* del último nivel de anidación de la función de producción, los choques de productividad de los sectores primarios (agricultura, ganadería, pesca y silvicultura). El escenario con CC es el resultado de la simulación con los cuatro choques simultáneamente, año tras año.

Como se observa en el Gráfico , la diferencia porcentual del PIB potencial con CC con respecto al BAU es en promedio 0,67% inferior durante el período de simulación para el escenario A1B. Lo anterior implica una disminución porcentual promedio de 0,016 puntos porcentuales del crecimiento del PIB. Es así como siendo el crecimiento potencial del PIB en el BAU, en promedio, igual a 2,54%, el efecto del CC llevaría a un crecimiento promedio del PIB potencial de 2,52%. Parece insignificante, pero como se observa en el agregado, el efecto es importante.

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 CC 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.

Gráfico 2. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para el PIB en el escenario A1B

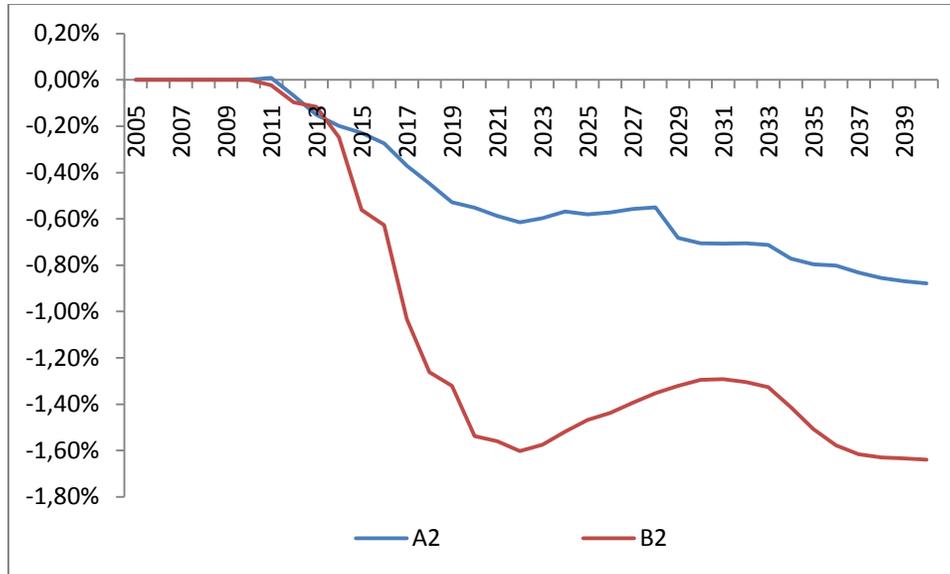


Fuente: SDAS-DNP

La conclusión del ejercicio anterior se enmarca dentro del escenario A1B del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) ya que los choques al modelo dependen de las series climáticas facilitadas por el CIAT para este escenario. Para los escenarios B2 y A2 del PICC sólo se contó con series hasta 2040 obtenidas a partir del modelo PRECIS del IDEAM. Con estos datos se corrió el MEG4C para tener una estimación de los impactos de CC sobre la economía colombiana bajo los supuestos climáticos de estos escenarios. Los resultados se presentan en el Gráfico 3, sin embargo, se debe tener en cuenta que el periodo en cuestión difiere entre los escenarios y lo mismo sucede con la fuente de la información, por lo que no se pueden comparar directamente con los resultados para el escenario A1B.

El Gráfico 3 presenta la pérdida en el PIB de acuerdo con cada escenario. Los resultados sugieren que en los dos escenarios se tendrían impactos negativos. Los mayores impactos se darían bajo el escenario B2 con una pérdida promedio del 1,01% del PIB llegando a 1,64% en 2040. Bajo el escenario A2 el impacto en 2040 sería de 0,88% y el promedio hasta ese año sería de 0,47%.

Gráfico 3. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para el PIB en los escenarios A2 y B2

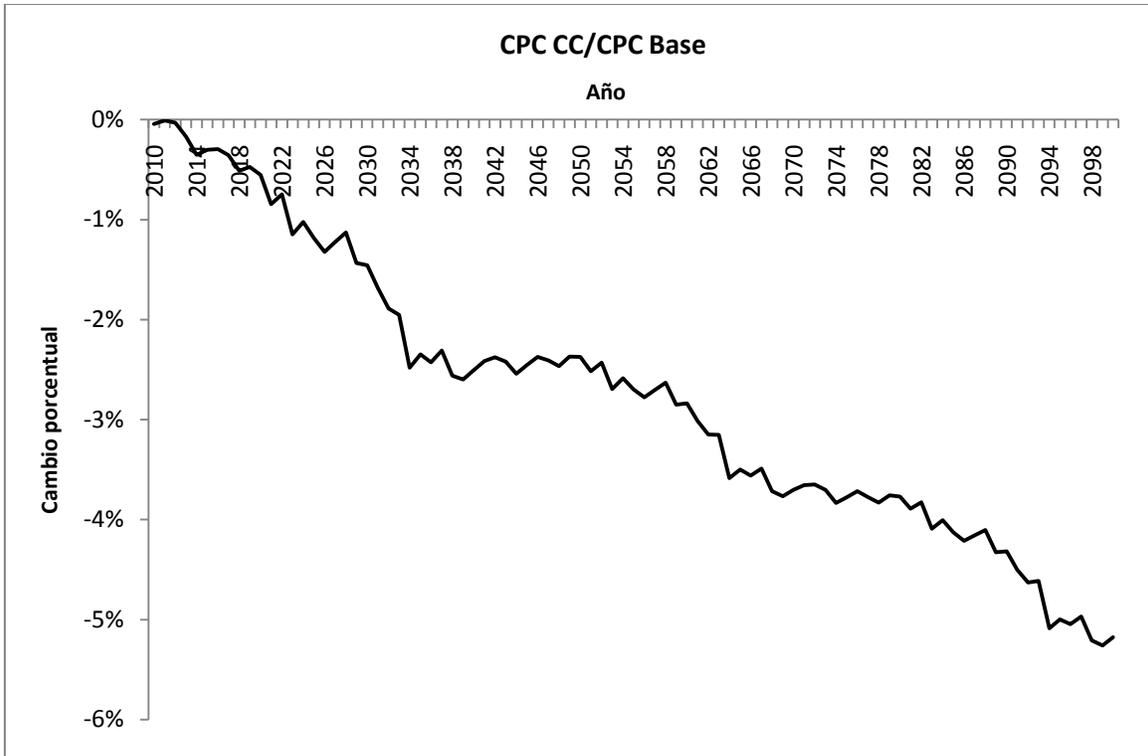


Fuente: SDAS-DNP

Para los cálculos siguientes se hará referencia al escenario A1B solamente, por ser el escenario que cuenta con proyecciones climáticas a más largo plazo (2010-2100).

En términos de consumo per cápita (Cpc) los resultados son más pronunciados que para el caso del PIB. Como se presenta en el Gráfico 4, en promedio hay una pérdida de 2,76% del Cpc anualmente, ahora bien, esta pérdida llega a ser del 5,18% al final del periodo de análisis.

Gráfico 4. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para el consumo per cápita en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

El Equivalente de Consumo Equilibrado (ECE) es la manera como el Reporte 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 5. Equivalente de Consumo Equilibrado para el choque de CC en el escenario A1B

Tasa de descuento	2%	4%	6%	8%	10%
ECE	-4,01%	-2,68%	-1,34%	-0,92%	-0,58%

Fuente: SDAS-DNP

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 CC son más drásticos a final de siglo, para tasas más bajas se tienen valores más altos del ECE. Con una tasa de 2,0% se pierde en consumo de hoy más del 4,01%; por el contrario, con una tasa de 10,0% la reducción es de 0,58%.

2.1.1 Análisis por Sectores

Se pueden identificar cuatro grandes grupos de sectores de acuerdo a los impactos de CC (Cuadro 6

Cuadro). El primer grupo está constituido por los sectores que se impactaron directamente por los cambios de las variables climáticas (agricultura, ganadería, pesca y silvicultura). El segundo grupo está representado por aquellos sectores cuyos impactos están correlacionados con los del primer grupo. El tercer grupo está conformado por aquellos sectores que durante un periodo resultan beneficiados, pero eventualmente resultan perdedores. Por último se encuentran aquellos sectores que resultan ganadores (minero-energéticos y minerales).

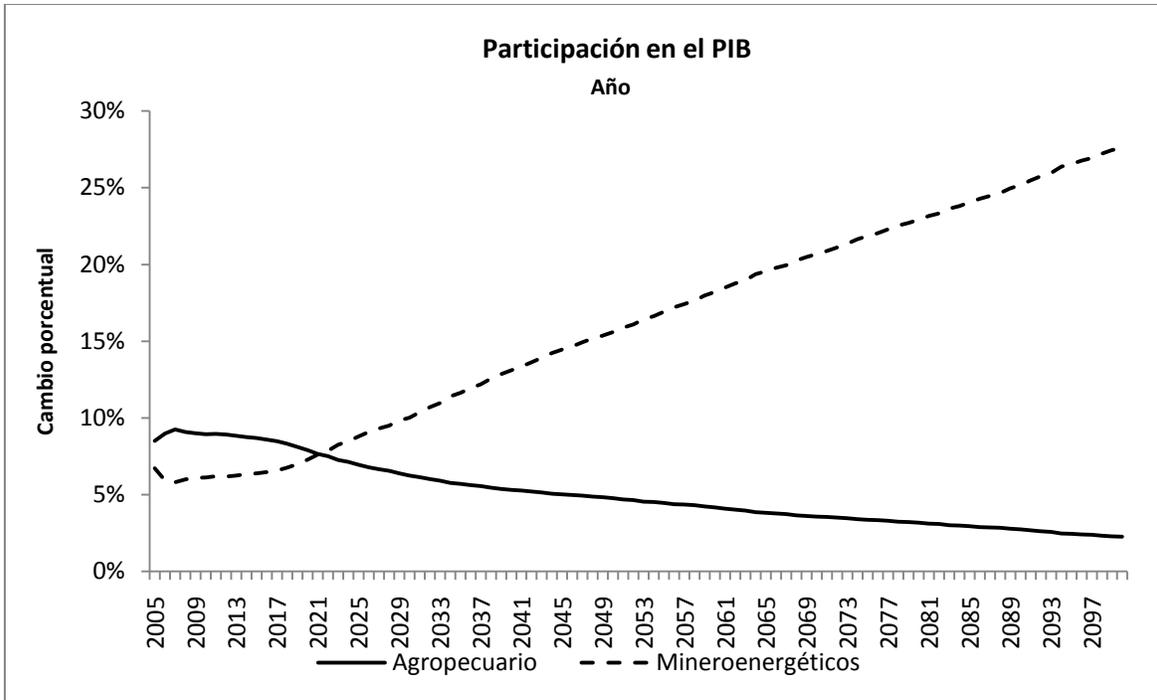
Cuadro 6. Efecto promedio del CC en el escenario A1B (cambio porcentual con respecto al BAU)

Sector	Perdida/Ganancia Porcentual Promedio
Minero Energético	4,54%
Mineral	1,39%
Transporte	0,22%
Maquinaria	-0,15%
Construcción	-0,36%
Servicios	-0,40%
Manufacturas	-1,15%
Agua y Residuos	-1,28%
Energía	-1,39%
Silvicultura	-1,64%
Comercio	-2,34%
Pesca	-13,44%
Alimentos Manufacturados	-13,67%
Pecuario	-14,37%
Agricultura	-20,86%

Fuente: SDAS-DNP

Es así como el Gráfico 5 sugiere que al tener en cuenta el efecto del CC, la economía colombiana podría pasar a ser un país con una gran participación del sector minero debido a la disminución en rentabilidad de los sectores primarios. Este resultado debe tomarse con cautela ya que no se ha incluido disponibilidad de reservas para que efectivamente se pueda dar esta reasignación de recursos. Por otra parte, la extracción de varios minerales requiere agua y el efecto de la disminución de recurso hídrico tampoco ha sido incluido en el modelo.

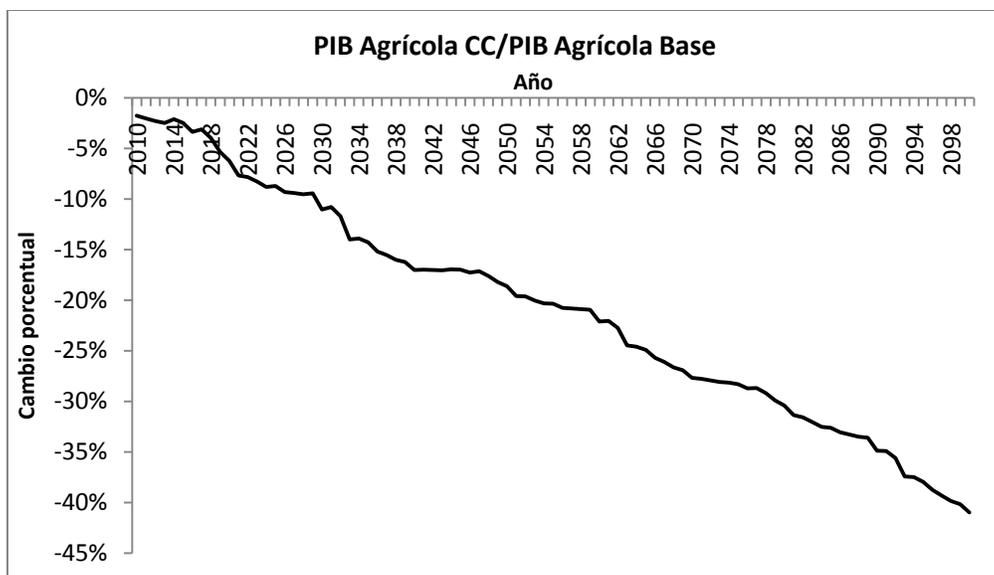
Gráfico 5. Participaciones de los sectores en la producción con choque de CC en el escenario A1B



Fuente: DNP-SDAS

En términos de producción, el sector de la agricultura pierde en promedio 20,86% con respecto al BAU. 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. Es de resaltar que, de acuerdo a los análisis realizados, la productividad del sector de agricultura depende negativamente del aumento en la precipitación. Lo anterior se debe, probablemente, a la pérdida de flores y al cambio del pH del suelo.

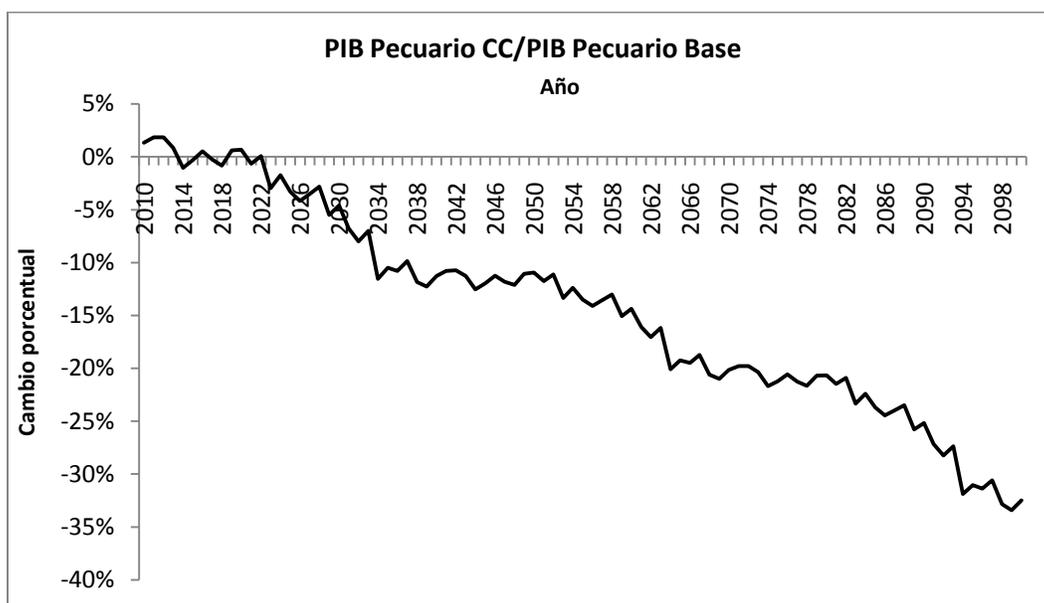
Gráfico 6. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción en el sector de agricultura en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

En promedio se pierde 14,47% de la producción del sector ganadero con respecto al BAU. Sin embargo, estas pérdidas se acentúan en los años finales donde se pierde más del 30,0% de la producción.

Gráfico 7. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción ganadera en el escenario A1B

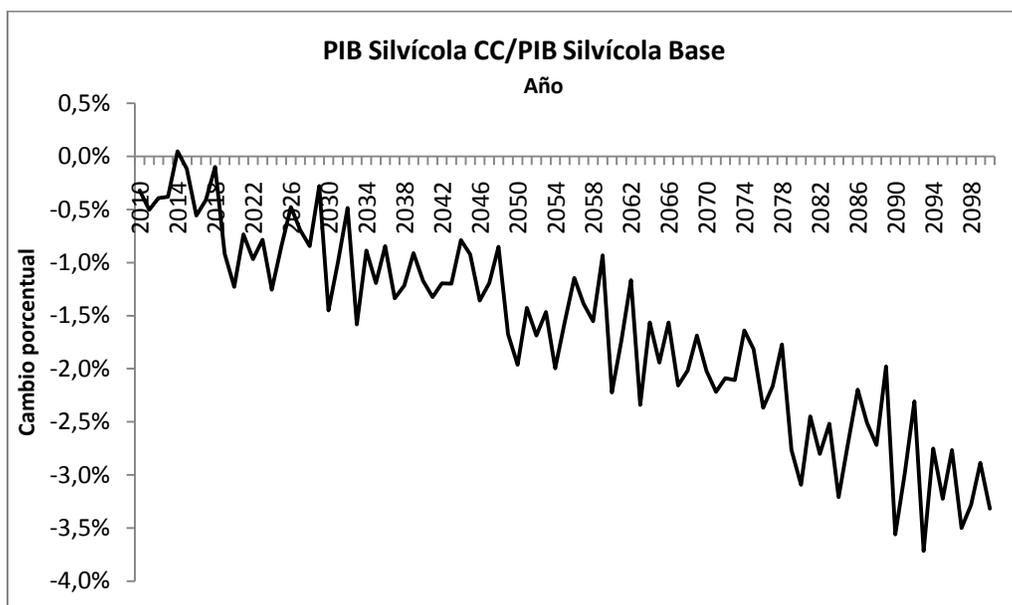


Fuente: SDAS-DNP

En promedio el sector forestal pierde 1,64% de la producción con respecto al BAU. El comportamiento es oscilante ya que la productividad del sector se beneficia por aumentos de

temperatura, pero se afecta por cambios del régimen de lluvias, en resumen la productividad tiene una gran correlación con los ciclos climáticos. Es importante recordar que, la función de la productividad del sector es tomada del estudio para Estados Unidos. En este país los bosques son de clima templado por lo que se prevé resultarán favorecidos por el calentamiento global. Por el contrario, es probable que los bosques tropicales puedan ser los primeros perjudicados con el CC.

Gráfico 8. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción en silvicultura en el escenario A1B

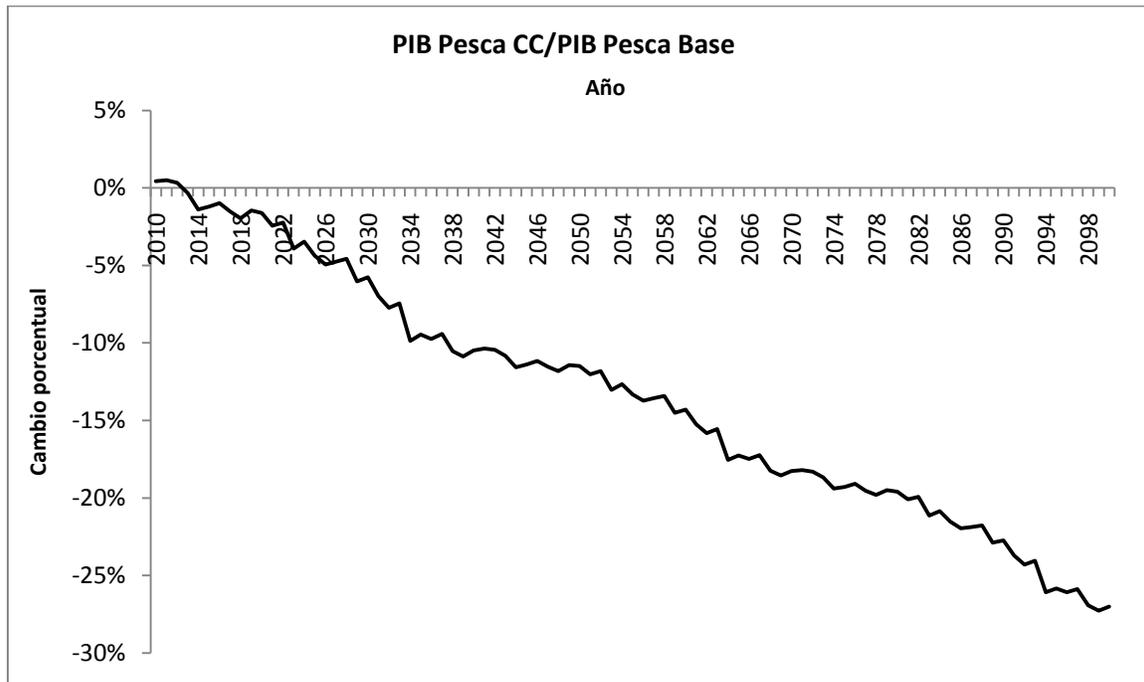


Fuente: SDAS-DNP

El sector de pesca difiere de los anteriores tres sectores en que su función de pérdidas depende del aumento del nivel del mar, que, a diferencia de temperatura y precipitación, va variando constantemente y siempre en sentido positivo en el tiempo. En promedio se observa una pérdida de 13,44% de la producción con respecto al BAU y los impactos van incrementándose hasta perder casi el 27,01%. Lo anterior se puede deber a la inundación de las ciénagas, y la desaparición de los manglares que son las guarderías del océano.

Gráfico 9. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción en pesca

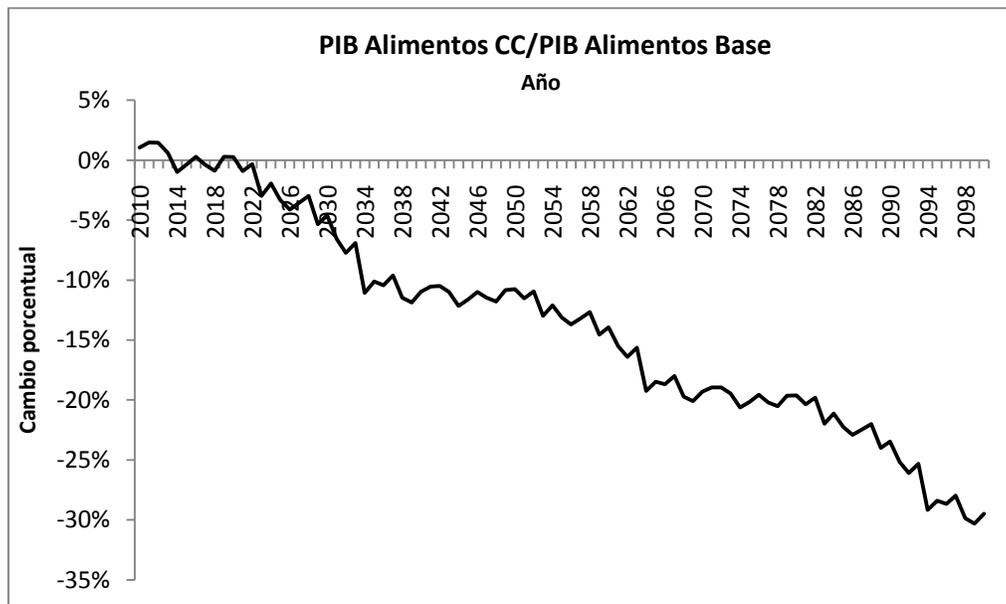
en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

El comportamiento del sector de alimentos manufacturados sigue la misma tendencia que el de agricultura y ganadería. Lo anterior se debe a que la producción del sector depende en gran medida de la producción del sector agrícola y ganadero ya que estos son sus principales insumos. En promedio el sector pierde 13,67% de la producción con respecto al BAU.

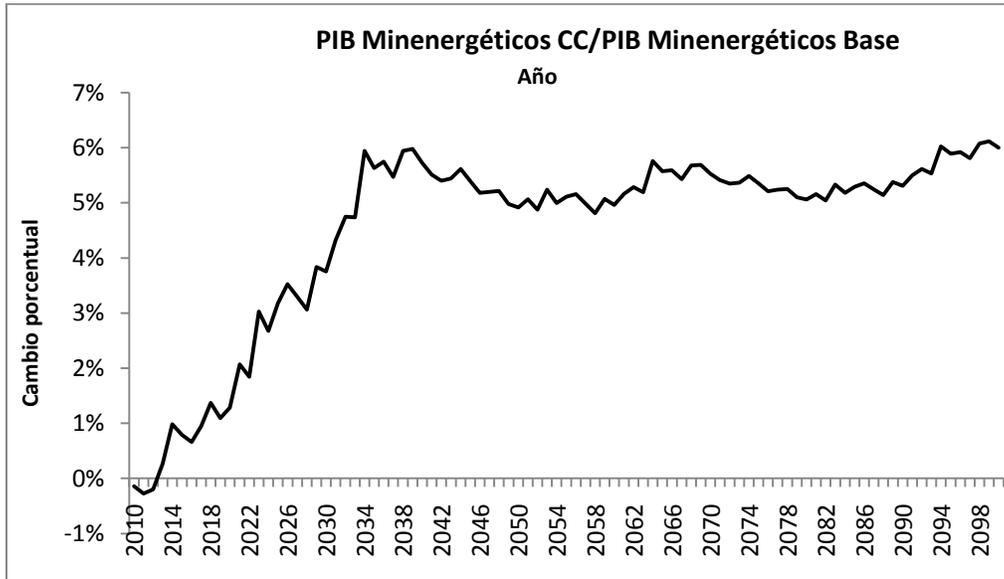
Gráfico 10. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción en alimentos manufacturados en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

De otra parte, como se puede observar en el Gráfico 11, el sector minero-energético es el sector más beneficiado ganando en promedio 4,54% de la producción con respecto al BAU. Los efectos empiezan con grandes ganancias que se estabilizan alrededor del 5% durante treinta años. Al final del periodo de análisis el sector ha ganado 6% con respecto al escenario base. Es importante aclarar que se asume que este sector no presenta agotamiento de reservas de petróleo o carbón, sino que éstas se mantienen en promedio alrededor de las existentes para el 2005 (año que se toma como base en el modelo).

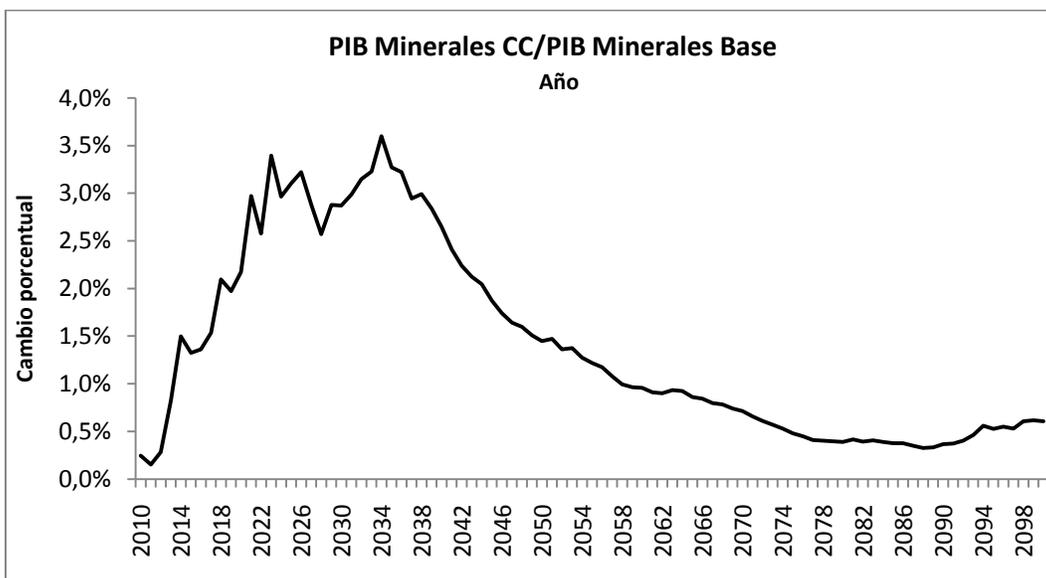
Gráfico 11. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de minero-energéticos en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

Lo mismo sucede con el sector de minerales que también resulta beneficiado promediando ganancias de 1,39% del PIB cada año. En los primeros años el sector gana constantemente hasta un pico de 3%, a continuación baja hasta 0,5% para luego terminar el siglo con ganancias cercanas al 1% del PIB del escenario base.

Gráfico 12. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de minerales metálicos y no metálicos en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

Con respecto a los sectores restantes de la economía se observa que el efecto del CC es negativo y el promedio anual fluctúa desde pérdidas de 0,02% hasta pérdidas de 2,0%¹⁶. Particularmente, el sector de agua, alcantarillado y desechos de residuos resulta permanentemente afectado, en promedio su pérdida es de 1,28% de su producción con respecto al BAU. El sector de manufacturas pierde en promedio 1,15% y el sector servicios pierde en promedio 0,4% de producción con respecto al BAU cada año. El sector comercio se ve casi permanentemente afectado por los impactos de CC, en promedio cada año se pierde 2,34% de producción con respecto al BAU.

Aunque en la primera década el efecto no es claro, el sector energético pierde en promedio 1,39%. Es importante tener en cuenta que estos cálculos no incluyen los costos de una posible fuerte sequía que afecte los embalses de las hidroeléctricas (64% del sector, UPME 2007).

El sector de maquinaria pierde en promedio 0,15% de producción con respecto al BAU. Registra beneficios los primeros cuarenta años pero a partir de 2054 las pérdidas son permanentes. Al inicio del período el sector de la construcción se ve ligeramente beneficiado, pero a partir de 2039 resulta siempre afectado. El sector pierde en promedio 0,36% del PIB.

Es importante resaltar que los impactos en el sector transporte son bastante cíclicos. La primera etapa que dura veinte años exhibe pérdidas y ganancias menores al 0,1% de la producción con respecto al BAU. A continuación se observa un ligero auge de veinticinco años con ganancias promedio de 0,2% de la producción con respecto al BAU. Posteriormente se encuentra un periodo de treinta y cinco años de una reducción en las ganancias, hasta estabilizarse las ganancias alrededor del 0,2%. El sector gana en promedio 0,22% de la producción con respecto al BAU.

2.1.2 Ejercicio de Micro-simulaciones para evaluar el Impacto del CC en los Hogares

Las micro-simulaciones (MSM) aparecen por la necesidad de evaluar impactos de políticas y choques a nivel de individuos usando la información disponible en bases de datos micro como las encuestas de hogares. De esta forma se logran capturar los efectos propios de la heterogeneidad de hogares, individuos o empresas, cuestiones que un “agente representativo” excluye.

En el caso del MEG4C del EIECC el modelo solo incluye un sector de hogares, es decir, asume que todos los hogares se comportan de la misma manera y, por lo tanto, los efectos del CC tendrán un impacto igual sobre cada hogar. De manera contraria, las MSM capturan información sobre el ingreso y el gasto de los hogares y permiten determinar individualmente el impacto del

¹⁶ Los gráficos son presentados en el Anexo 4.

CC sobre cada hogar.

Las MSM usan dos fuentes de información: los precios de los bienes y los salarios (los cuales son tomados de los resultados del MEG4C) y el gasto de los hogares en cada uno de los sectores del MEG4C (el cual es tomado de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) de 2008).

El modelo de MSM utilizado en este ejercicio observa la composición de la canasta consumida por cada individuo u hogar y usando el cambio en los precios producido por el choque del CC en el MEG4C se mide la variación compensada del ingreso (Δy_i^*) percibida por cada hogar. Esta variación se puede calcular como el negativo del cambio en el gasto neto que se requeriría para adquirir la misma canasta consumida antes del choque de CC más el cambio en los ingresos producto del CC. La siguiente ecuación captura lo mencionado:

$$\Delta y_i^* = - \sum_j x_i^j \Delta p^j + \Delta y_i \quad (10)$$

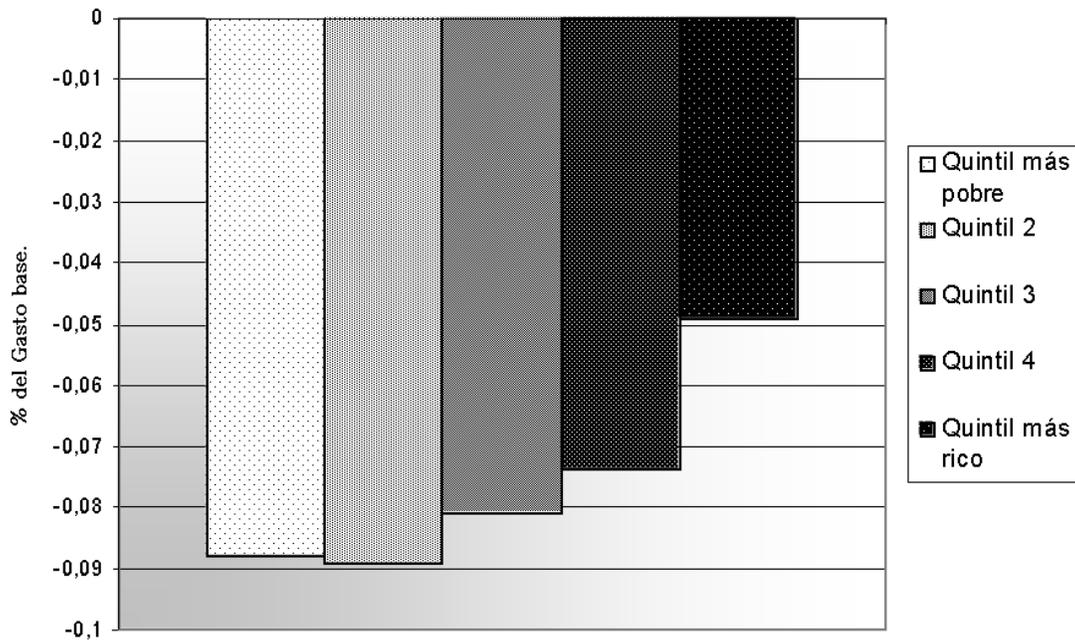
En donde x_i^j es la demanda neta del hogar i por el bien o servicio j , Δp^j es el cambio en el precio del bien o servicio j y el término y_i^0 es el ingreso del hogar i . Escribir la ecuación de esta manera permite incluir el trabajo como un servicio cuya demanda es negativa. Una descripción más detallada de esta metodología se puede encontrar en Bourguignon y Spadaro (2006).

Los resultados presentados a continuación se dividirán entre los efectos por mayor gasto de los hogares debido al cambio en el precio de sus bienes de consumo ($-\sum_j x_i^j \Delta p^j$) y los efectos debido al cambio en el ingreso percibido (Δy_i).

2.1.2.1 Impacto del CC en el Gasto de los Hogares

Los resultados muestran que, en promedio, hay un impacto mayor del CC en los hogares más pobres (midiendo pobreza relativa como los hogares que menos gastan contra los que más gastan). El siguiente gráfico muestra la pérdida promedio de bienestar para los hogares como porcentaje de su gasto (divididos por quintiles de gasto) entre los años 2010 y 2100.

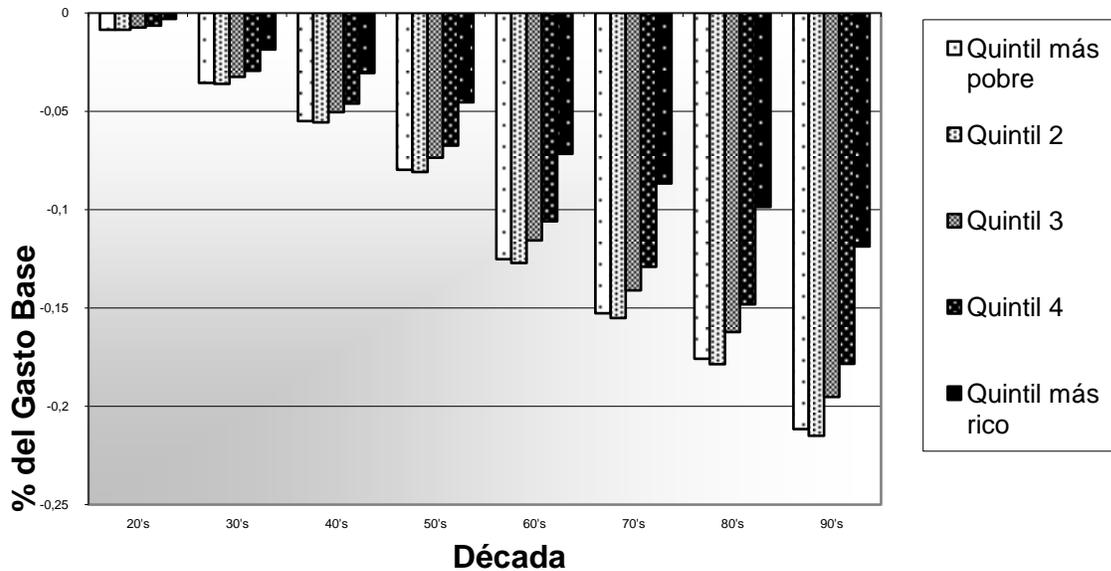
Gráfico 13. Diferencia promedio para el período 2010 – 2100 entre el BAU y el choque de CC para el bienestar de los hogares por quintiles en el escenario A1B (como porcentaje del gasto del hogar en 2008)



Fuente: DNP-SDAS

Al analizar el promedio por décadas, la conclusión siempre es la misma; los quintiles más pobres se ven más afectados que los quintiles más ricos, y para toda la población el efecto se incrementa hasta llegar a niveles promedios de una pérdida cercana al 15% del gasto en 2100. El siguiente gráfico presenta los resultados a lo largo del siglo.

Gráfico 14. Diferencia promedio por década entre el BAU y el choque de CC para el bienestar de los hogares por quintiles en el escenario A1B (como porcentaje del gasto del hogar en 2008)



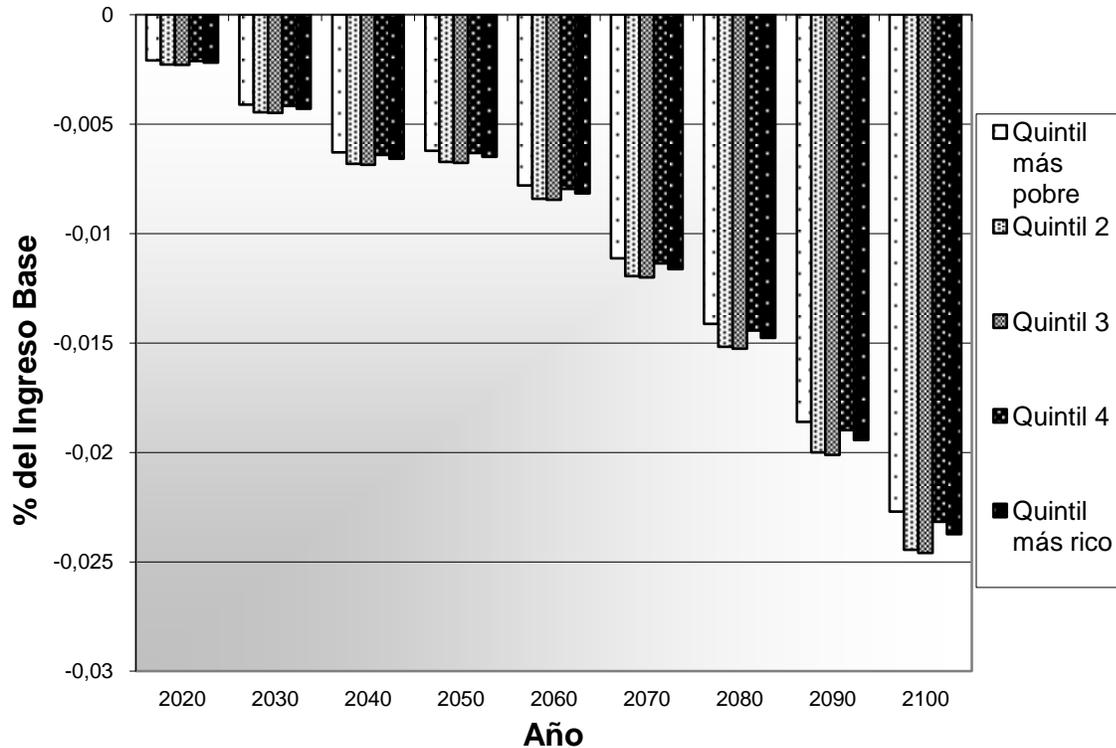
Fuente: SDAS-DNP

Cabe anotar que, probablemente, el hecho de que el quintil más pobre no sea el más afectado se deba a que, entre los hogares más pobres, una importante cantidad presenta gasto nulo y por lo tanto el efecto del CC va a ser nulo para estos casos.

2.1.2.2 Impacto del CC en el Ingreso de los Hogares

En el caso del ingreso, los resultados no son tan claros como en el caso del gasto. Se observa cierta tendencia a que los hogares de clase media sean los más perjudicados por el impacto del CC vía ingreso, sin embargo, los valores son muy similares para todos los quintiles. El siguiente gráfico muestra la pérdida promedio de bienestar para los hogares como porcentaje de su ingreso (divididos por quintiles de gasto) entre los años 2020 y 2100.

Gráfico 15. Diferencia promedio por década entre el BAU y el choque de CC para el bienestar de los hogares por quintiles en el escenario A1B (como porcentaje del ingreso del hogar en 2008)



Fuente: SDAS-DNP

En el Gráfico 15 se observa que al pasar el tiempo los efectos del CC presentan un mayor impacto para el ingreso de los hogares, sin embargo, no se observan diferencias significativas entre quintiles de ingreso. De hecho, el modelo predice que el impacto para todos los quintiles va a ser más o menos similar con una tendencia a que el quintil más pobre presente los menores impactos. La explicación de que el impacto en el quintil más pobre sea el menor, puede ser que 315 hogares de la muestra tienen un ingreso igual a cero, que se mantiene constante en cero en cualquiera de los escenarios. El hecho de que no haya variación entre los quintiles de hogares puede deberse a que el MEG4C hasta ahora no cuenta con suficiente variabilidad en los salarios ya que el trabajo está agregado en sólo dos grupos (calificado y no calificado). Una desagregación mayor (por ejemplo incluyendo un salario diferenciado para los trabajadores rurales) permitiría capturar una mayor variación en los salarios por tipo de trabajo lo que reflejaría mejor las diferencias de salarios por quintiles de ingreso.

2.1.2.3 Impacto del CC en términos de Disminución de la Pobreza

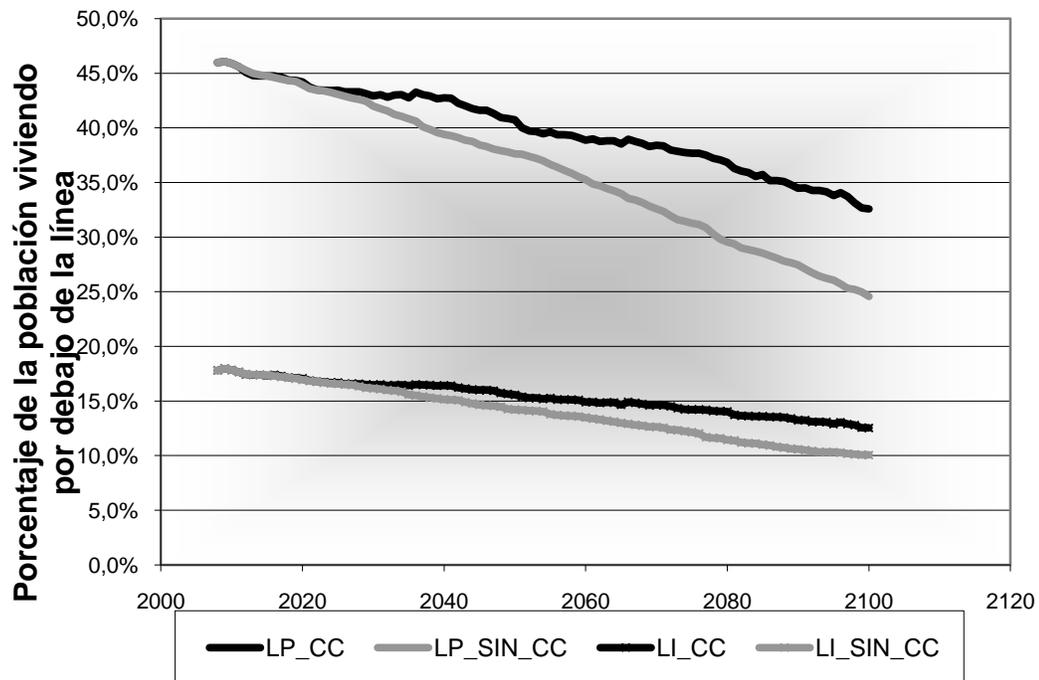
Con el vector de salarios también es posible realizar un análisis sobre el indicador de pobreza. El concepto usado será la Línea de Pobreza (LP) y línea de indigencia (LI) debido a que sólo contamos con proyecciones de salarios y el MEG4C no arroja resultados con los que se puedan calcular otros indicadores como el de Necesidades Básicas Insatisfechas.

La Misión para el Empalme de las Series de Empleo, Pobreza y Desigualdad (MESEP) elaborada conjuntamente por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP), definió la línea de pobreza e indigencia para el año 2008, con la cual se determinó que en ese año, el 46% de la población vivía por debajo de la LP y el 17,8% vivía bajo la LI.

La metodología para calcular estos valores se encuentra disponible en la página de DNP (DNP – DANE, 2009) e incluye correcciones por cuestiones como acceso a seguridad social y educación. Como en el MEG4C no se cuenta con este tipo de proyecciones, la forma de calcular la población viviendo por debajo de la LP no coincide con esa metodología pero es coherente con los resultados de la MESEP.

En particular, se calcularon nuevas LP y LI de tal manera que, teniendo en cuenta solamente los ingresos monetarios de los hogares, se llegara a los mismos niveles de pobreza e indigencia observados en 2008. Estas líneas se corrigieron año a año con el índice de precios de los alimentos proveniente del MEG4C. Finalmente, en cada año y para cada escenario (BAU y con choque de CC), se tomó el vector de salarios y se calculó el nuevo valor de pobreza e indigencia. El Gráfico 16 presenta la proyección del modelo para la porción de la población viviendo por debajo de cada línea.

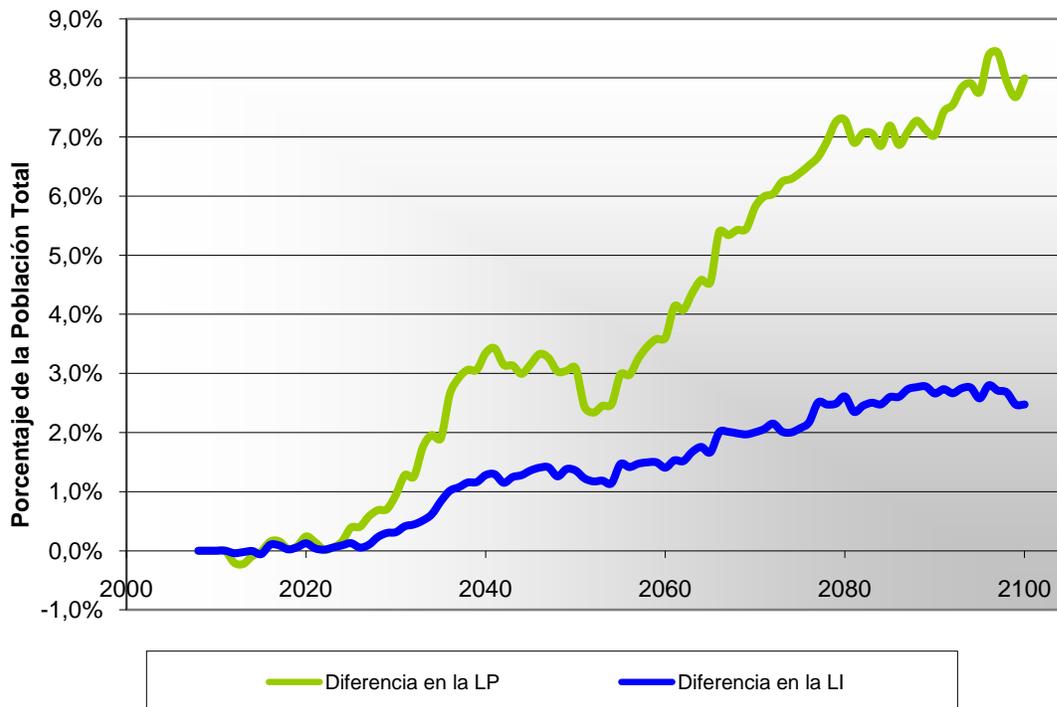
Gráfico 16. Pobreza e indigencia en Colombia para los escenarios BAU y con choque de CC en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

De nuevo, los supuestos del MEG4C no permiten que se tome este valor como una predicción válida sino que se debe prestar atención a la diferencia entre los escenarios. El Gráfico 17 presenta la diferencia de los niveles de pobreza entre el BAU y el escenario con choques de CC.

Gráfico 17. Diferencia entre el BAU y el choque de CC para la población viviendo por debajo de las Líneas de Pobreza e Indigencia en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

El gráfico muestra que el CC afecta negativamente al ingreso de los hogares más pobres. En el escenario de CC la pobreza llega a ser mayor hasta en un 8% del total de la población mientras que la indigencia llega a ser cerca de 3% mayor en el caso de CC. Las razones se pueden dividir en dos: En primer lugar, el CC desacelera el crecimiento económico y por lo tanto el ingreso de los hogares es menor. En segundo lugar, el CC ocasiona un aumento en los precios de los alimentos que empobrecen relativamente a los hogares más pobres.

Es importante resaltar que estos resultados presentan tres fuentes de ruido principales: En primer lugar, están sujetos a los resultados del MEG4C y por lo tanto heredan sus supuestos. Segundo, el modelo de MSM aritmética no incluye variables comportamentales, asumiendo que la estructura de los hogares en el 2100 será igual a la de los hogares en 2008. Por último, la medida de LP usada no toma en cuenta el riesgo que enfrentan los hogares por eventos asociados al clima. La sugerencia de incorporar esta variable es tomada de González (2009) y podría adoptarse a medida que se tengan proyecciones de eventos extremos en el marco del EIECC. Por todo lo anterior, los resultados presentados deben ser tomados con cuidado y ser revisados a medida que continúe el desarrollo de los modelos del EIECC.

3. Comentarios Finales

El modelo utilizado para obtener los resultados expuestos presenta importantes 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.

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 que incluyan proyectos de adaptación y/o mitigación.

Igualmente, es importante anotar que el análisis no incluye los impactos por variabilidad climática. Lo anterior es relevante si se tiene en cuenta que, algunos expertos sugieren que estos impactos podrían ser más severos que los provenientes del cambio en la tendencia del clima.

Finalmente, el modelo no incluye destrucción de capital por desastres naturales, ni impactos sobre salud, mortalidad, servicios ecosistémicos como la provisión del recurso hídrico ni biodiversidad. Dado lo anterior, se considera que el costo económico del CC presentado en este estudio podría estar subestimado y es por esto que se recomienda continuar con el desarrollo de modelos que incorporen los impactos que no se han tenido en cuenta.

Referencias

- Arango, L. E., Posada, C. E. y García, A. (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 453.
- Armington, P. (1969). *A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production*. IMF Staff Papers Vol. 16 (1), March.
- Beghin, J., Roland-Holst, D. and Van der Mensbrugge, D. (2002). *Trade and the Environment in General Equilibrium: Evidence from Developing Economies*. Kluwer Academic Publishers.
- Blanchard, O. and Jimeno, J. F. (1999). *Reducing Spanish Unemployment under the EMU*. Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Documento de Trabajo 99-02.
- Bourguignon, F. y Spadaro, A. (2006). Microsimulation as a Tool for Evaluating Redistribution Policies. *ECINEQ, Working Paper Series*.
- Bourneaux, J.-M., Nicoletti, G., & Oliveira-Martins, J. (1992). GREEN: A global model for quantifying the costs of policies to curb CO2 emissions. *OECD Economic Studies*, 49-92.
- Bussolo, M., Holst, D., & van der Mensbrugge, D. (1998). The Technical Specification of FEDESARROLLO's Long Run General Equilibrium Model. *Series Documentos de Trabajo*.
- Bussolo, M. y Lay, J. (2003). Globalization and poverty changes in Colombia.
- Corredor, D. y Pardo, O. (2008). *Matrices de Contabilidad Social 2003, 2004 y 2005 para Colombia*. Departamento Nacional de Planeación, Archivos de Economía, No 339.
- González J. I., (2009) "Pobreza y Cambio Climático" PNUD, Programa Conjunto de Integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático.
- Heckman, J., Lochner, L., & Petra, T. (2003). Fifty Years of Mincer Earning Regressions. Bonn, Alemania: IZA.
- Jorgenson D., Goettle R., Hurd B., Smith J. (2004) "U.S. Market consequences of global climate change" Pew Center on Global Climate Change
- Julio, J. (2001). *How uncertain are NAIRU estimates in Colombia?*. Banco de la República Borradores de Economía, No. 184.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP). (2008) *Marco Fiscal de Mediano Plazo 2008*.

Shannon, C. (1948). A Mathematical theory of communication. *Bell System Thecnical Journal*, 27, 379-423.

Robinson, A. Cattaneo y M. El Said (2001). *Updating and Estimating a Social Accounting Matrix Using Cross Entropy Methods*. Economic Systems Research, Vol. 13 (1), pp. 47-64.

Stern, N. (2007), “El Informe Stern: La Verdad del Cambio Climático”, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., Barcelona.

The World Bank (2009), “Adapting to Climate Change to cost US\$75-100 Billion a Year”, News Release No. 2009. Sitio web: <http://siteresources.worldbank.org/INTCC/Resources/EACCFinalRelease.pdf>

Toro D. (2009) “Long Run Economic Growth: Modeling Exercise for Emerging Markets” Washington State University

Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2007), Plan de Expansión de Referencia, Generación – Transmisión 2008 – 2022. Ministerio de Minas y Energía, Subdirección de Planeación Energética.

Wing, I. S. (2004). *Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis: Everything you ever wanted to Know (But were afraid to Ask)*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

Anexo 1. Balanceo por medio de la Mínima Entropía Cruzada

Los procedimientos para balancear una matriz son diversos. Uno de ellos es el método “artesanal” en el que el investigador, a través de las restricciones macroeconómicas de la matriz e información externa, utiliza unas proporciones para aplicarlas en la MCS y equilibrar la suma de filas y columnas. De otra parte podemos encontrar métodos más técnicos que tienen como objetivo minimizar la distancia entre la matriz no balanceada y la matriz balanceada. Existen dos tipos de balanceo en este método: en el primero se pretende minimizar una medida euclidiana de distancia, cómo el método de RAS o mínimo cuadrados, y en el segundo se utiliza el método de máxima entropía.

En general, independientemente de la medida de distancia, el problema de balanceo de una MCS puede resumirse como el siguiente problema:

$$\text{Minimizar } d(MCS^0, MCS^1) \quad (A1.1a)$$

$$\text{sujeto a } \sum_i a_{ij}^1 = \sum_j a_{ij}^1 \quad (A1.1b)$$

Donde el superíndice 0 es para la MCS no balanceada, el superíndice 1 para la MCS balanceada y a_{ij} representa las celdas de la MCS. El objetivo es minimizar la distancia entre la MCS balanceada y no balanceada, sujeto a las siguientes restricciones: la suma de las filas y las columnas de la MCS balanceada debe ser igual, y si hay una celda igual a cero en la MCS no balanceada no debe aparecer un número positivo o negativo en esta celda en la MCS balanceada.

Método de Mínima Entropía Cruzada

El método de mínima entropía cruzada se basa en la teoría de la información y fue implementado por Robinson, et al. (2001). El procedimiento de estimación es muy sencillo y se describe a continuación:

Se consideran dos matrices que contienen probabilidades: inicial \bar{A} y nueva A . El propósito es encontrar una matriz nueva tal que la medida de la distancia de entropía cruzada de Kull-Leibler entre las probabilidades nuevas e iniciales sea mínima. Si se le da una interpretación de probabilidad a los coeficientes a_{ij} , el problema es el siguiente:

$$\text{Minimizar } \sum_i \sum_j a_{ij}^1 \ln \frac{a_{ij}^1}{a_{ij}^0} \quad (A1.2a)$$

$$\text{sujeto a } \sum_j a_{ji}^1 = 1 \text{ y } 0 \leq a_{ji} \leq 1 \quad (A1.2b)$$

$$\sum_j a_{ji}^1 y_j^* = y_i^* \quad (A1.2c)$$

$$a_{ij}^0 = 0 \text{ implica que } a_{ij}^1 = 0 \quad (\text{A1.2d})$$

y la restricción macroeconómica del PIB; donde y_i^* es el vector suma de las columnas de la nueva matriz. En otras palabras este método minimiza la información adicional contenida en el paso de una matriz a otra. Para una mejor comprensión, consideremos como Robinson, et al. (2001) que un evento E_i de un conjunto de n eventos tiene una probabilidad de ocurrencia q_i y que se recibe un mensaje que implica que esta probabilidad es reemplazada por p_i . Según Shannon (1948) la información recibida con el mensaje es $-\ln p_i$, por lo tanto la información adicional debida a p_i es:

$$-\ln p_i - (-\ln q_i) = -\ln \frac{p_i}{q_i} \quad (\text{A1.3})$$

Si generalizamos para los n eventos, y calculamos el valor esperado obtenemos la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n p_i \ln \frac{p_i}{q_i} \quad (\text{A1.4})$$

Esta expresión es la medida de la distancia de entropía cruzada de Kull-Leibler.

Anexo 2. Modelo de Contabilidad del Crecimiento¹⁷

Con el objetivo de contar con un escenario de crecimiento del *PIB potencial* de referencia para el MEG4C se utilizó un modelo de contabilidad del crecimiento basado en una función de producción del tipo *Cobb-Douglas* con rendimientos constantes a escala:

$$Y = AL^{1-\alpha}K^\alpha \quad (\text{A2.1})$$

Donde Y es el producto, A la productividad total de los factores, L el nivel de empleo, K el nivel de capital y α la participación del capital en la producción.

El modelo toma como base la información observada desde 1950 hasta 2008, y el Marco Fiscal de Mediano Plazo¹⁸ con el objetivo de establecer un crecimiento del PIB balanceado a partir de la siguiente descomposición de la función de producción (A2.1):

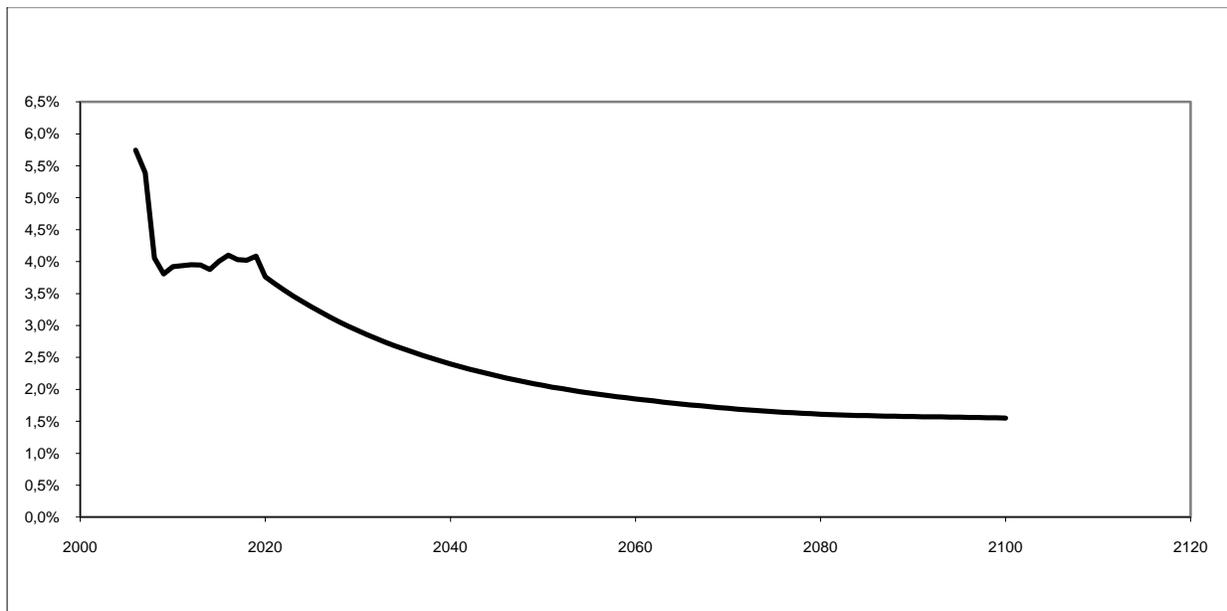
¹⁷ Este modelo está basado en Blanchard y Jimeno (1999).

¹⁸ 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.

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{A}}{A} + (1 - \alpha) \frac{\dot{L}}{L} + \alpha \frac{\dot{K}}{K} \quad (\text{A2.2})$$

Donde el punto representa el cambio de la variable en el tiempo. Por medio de esta relación se proyecta un escenario de crecimiento de PIB potencial 2005-2100 que servirá de base para la calibración dinámica del MEG4C¹⁹.

Gráfico 18. Crecimiento del PIB potencial 2005 – 2100



Fuente: SDAS-DNP

Para el cálculo del crecimiento del PIB potencial se estimó el crecimiento de la población en edad de trabajar (PET) mediante la proyección de la población²⁰. Adicionalmente se consideró una tasa estructural de desempleo de 7,5%²¹ y una participación del capital en el producto de 40% (este porcentaje ha sido el histórico en cuentas nacionales en los últimos veinte años).

La ecuación utilizada para calcular el stock de capital es la siguiente:

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_{t-1} \quad (\text{A2.3})$$

¹⁹ Esto es, en ausencia de CC el MEG4C debe reproducir este mismo escenario de crecimiento del PIB.

²⁰ Véase Anexo 3 para una descripción detallada de la dinámica poblacional.

²¹ La elección de esta tasa se hizo de acuerdo a Julio (2001) y Arango, Posada y García (2007).

Donde δ es la tasa de depreciación igual a 4,92%²², I es la inversión fijada en 35% del PIB y t va desde 2006 hasta 2100. El ejercicio arroja como resultado un crecimiento promedio del PIB alrededor de 2,3% para el período de análisis. 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.

Anexo 3. Dinámica Poblacional

El comportamiento de la población de un país es crucial para entender el desempeño de la economía en el largo plazo, en este sentido es importante estimar una tasa de crecimiento poblacional y contar con una proyección de la población por edades para el cálculo de variables del mercado laboral. Estas variables son insumo fundamental en la elaboración del BAU para la evaluación de impactos del CC en el largo plazo.

Las estimaciones de población para Colombia se encuentran disponibles en el DANE hasta el año 2020, por lo que se hace necesario realizar un ejercicio de proyección de la población hasta 2100. Para lo anterior, se 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.

Descripción del Modelo Poblacional

Sean $P_t^h(n)$ y $P_t^f(n)$ la cantidad de individuos (hombres y mujeres respectivamente) de n años de edad en el año t ; adicionalmente sean $s_t^h(n)$ y $s_t^f(n)$ las tasas de supervivencia para la población de n años de edad en el año t para hombres y mujeres, respectivamente. Esto es, la probabilidad de que un individuo de n años continúe vivo al siguiente año. Por simplicidad, se toma una edad I máxima en donde la probabilidad de supervivencia es igual a 0. Por último, sea $b_t(n)$ la tasa de fecundidad para las mujeres de n años, es decir, el número de hijos que tienen, en promedio, las mujeres de n años en el año t . Naturalmente, la tasa de fecundidad sólo es mayor que cero en las edades reproductivas de la mujer. Teniendo como datos de entrada $P_0^h(n)$, $P_0^f(n)$ para el año base y los valores $s_t^h(n)$, $s_t^f(n)$ y $b_t(n)$ para el resto de años, se puede calcular recursivamente la

²² Fuente DNP.

población de la siguiente manera:

En primer lugar, se estima la población que nace para hombres y mujeres. Esta estimación se realiza teniendo en cuenta la fecundidad y el número de mujeres de cada grupo de edad. Es así como los nacimientos se calculan, para mujeres (superíndice f) y hombres (superíndice h), con las siguientes fórmulas:

$$P_t^f(0) = \alpha \sum_{i=0}^I b_t(i) P_{t-1}^f(0) \quad (\text{A3.1a})$$

$$P_t^h(0) = (1 - \alpha) \sum_{i=0}^I b_t(i) P_{t-1}^h(0) \quad (\text{A3.1b})$$

Donde α representa la proporción de mujeres en el total de nacimientos. El término I representa la edad máxima en la que se considera que la probabilidad de supervivencia es 0. Para las poblaciones de 1 y más años se tienen en cuenta las probabilidades de supervivencia y la población del año anterior de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$P_t^k(n) = s_{t-1}^k(i) P_{t-1}^k(n-1) \quad (\text{A3.2a})$$

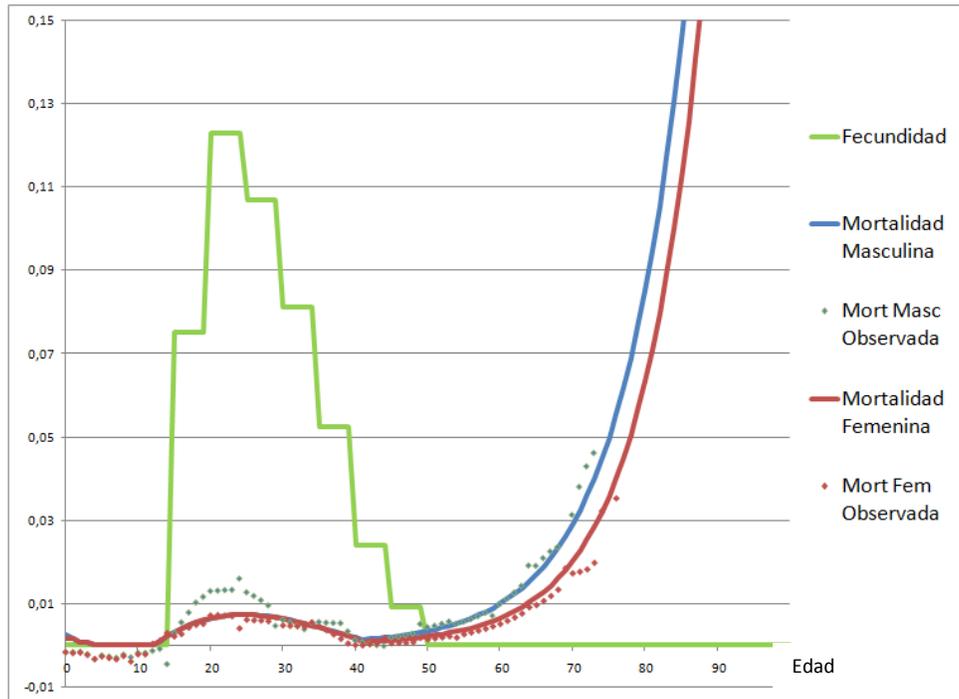
$$P_t^f(n) = s_{t-1}^f(i) P_{t-1}^f(n-1) \quad (\text{A3.2a})$$

Estimación de las Tasas de Fecundidad y Mortalidad

Para calcular la población en Colombia se partió de las estimaciones de población del DANE disponibles hasta el 2020. Por motivos de consistencia, se determinó el año 2013 como año base y por lo tanto las proyecciones usadas para correr el MEG4C coinciden con las del DANE hasta este año. A partir del año 2013 la población se estimó usando el modelo anteriormente descrito.

Para el cálculo de las tasas de mortalidad y supervivencia se tomó la misma fuente de datos y se promedió la mortalidad para el período 2012 - 2014, midiendo, para cada edad, la diferencia con el número de individuos que al año siguiente tienen un año más de edad. Este ejercicio se realizó separadamente para hombres y mujeres. Para “suavizar” la serie se estimó la tasa de mortalidad como una función exponencial de la edad y se corrigió por: la tasa de mortalidad infantil, tomada directamente del DANE y, una corrección para las edades comprendidas entre 12 y 40 años, las cuales registran mortalidades por encima de lo proyectado por la función exponencial. Las estimaciones de las tasas de mortalidad y fecundidad se presentan en el Gráfico 18 y fueron asumidas constantes a partir del 2013.

Gráfico 19. Fecundidad y mortalidad provenientes del modelo



Fuente: SDAS-DNP

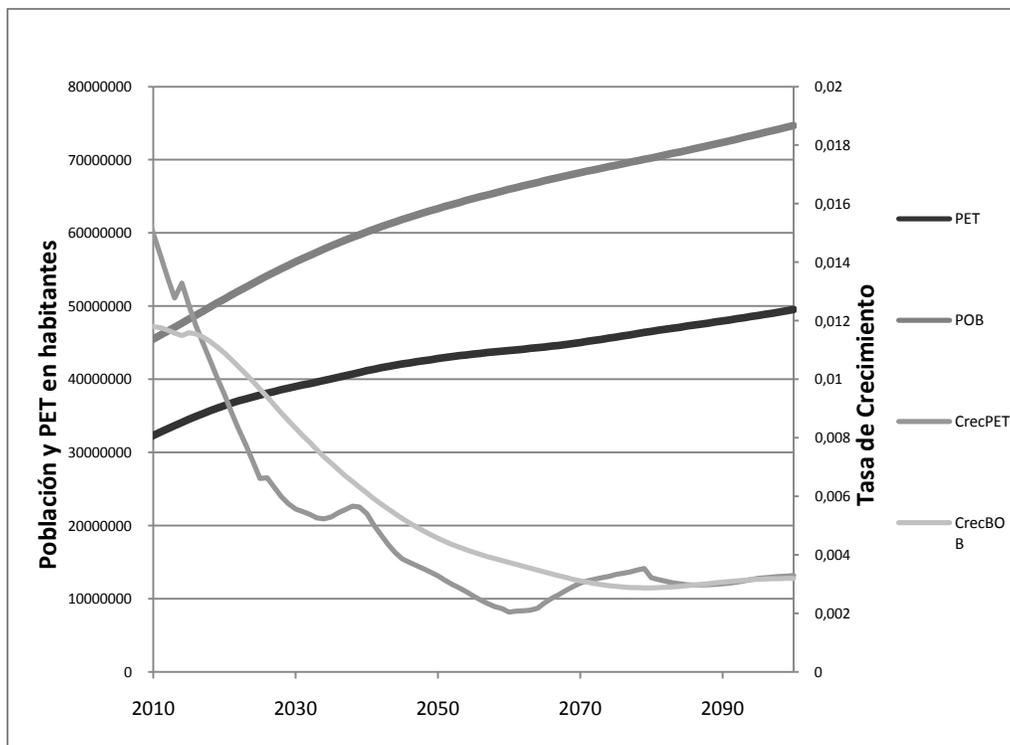
Se escogió el año 2013 como año base del modelo y los años del 2012 al 2014 para el cálculo de mortalidades y fecundidades con el propósito de suavizar el empalme de las series de población del DANE con las del modelo. El año 2013 resulta ser el año más apropiado para calcular las tasas de mortalidad y fecundidad ya que en las series del DANE los años anteriores presentan una tendencia marcada a la disminución de estas variables y se prefirió escoger el menor valor de la serie. Durante los años siguientes las tasas continúan bajando un poco pero se prefirió tomar el 2013 pues posteriormente se evidencian algunos efectos inconsistentes con el modelo de población aquí presentado. Lo anterior se puede deber a que los modelos del DANE incluyen variables como migraciones que pueden cambiar la proyección pero que no son incluidas en éste modelo debido a que son fenómenos difíciles de predecir en el largo plazo.

Con respecto a las tasas de fecundidad se usaron las estimadas por el DANE, sin embargo estas aparecen agrupadas por quinquenios entre los 15 y 49 años, por tanto se tomó para cada uno de los años la fecundidad del quinquenio al que pertenece. Adicionalmente se utilizó un valor de α igual a 0,525 calculada a partir de los datos de Reproducción Neta del DANE y una edad máxima I igual a 100 años. Se tomó esta edad ya que el nivel de población que llega a los 100 años es muy bajo comparado con la población total.

Cálculos con el Modelo Poblacional

Dadas las tasas de fecundidad y mortalidad y utilizando las ecuaciones (A3.1) y (A3.2), se encuentra 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.

Gráfico 20. Población y población en edad de trabajar hasta el año 2100



Fuente: SDAS-DNP

En el Gráfico 19 se muestra el comportamiento de la población en edad de trabajar (PET). Esta variable será la que determinará el factor trabajo en los modelos usados para estimar el impacto del CC en el largo plazo y por esto es relevante analizarla por separado. La PET se calcula como la población entre 12 y 65 años.²³ 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 las generaciones y que hacen que la población por edad sea desigual a lo largo del tiempo. Lo anterior se evidencia en las siguientes pirámides poblacionales en las que se seleccionaron los años 2005, 2020, 2050 y 2100.

²³ 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.

La pirámide de población del 2005 muestra que la población colombiana aún está en una fase de expansión, al ser más amplia en la base y con un pico hacia el final, sin embargo, esto comienza a cambiar en el 2020 en donde la base de la pirámide se vuelve cuadrada indicando que el número de nacimientos no aumenta más que proporcionalmente que la gente que sobrevive. Hacia el 2050 se tiene una población más equilibrada en cuanto a la cantidad de jóvenes y viejos. En el 2100 el gráfico recupera la forma de pirámide en el sentido de que la población disminuye a medida que aumenta la edad. Sin embargo, comparado con el 2005, la expansión de la población en el 2100 es mucho menor, esto se concluye si se observa que la pendiente de los lados de la pirámide se hace mayor al final del siglo, lo anterior es coherente con la tasa de crecimiento de la población que comienza cercana a 2% en el 2005 y se proyecta en un 0,2% para el 2100. Es importante notar que a medida que avanza el siglo la población presenta una acumulación cada vez mayor en la población mayor de 80 años representada por la última barra de la pirámide.

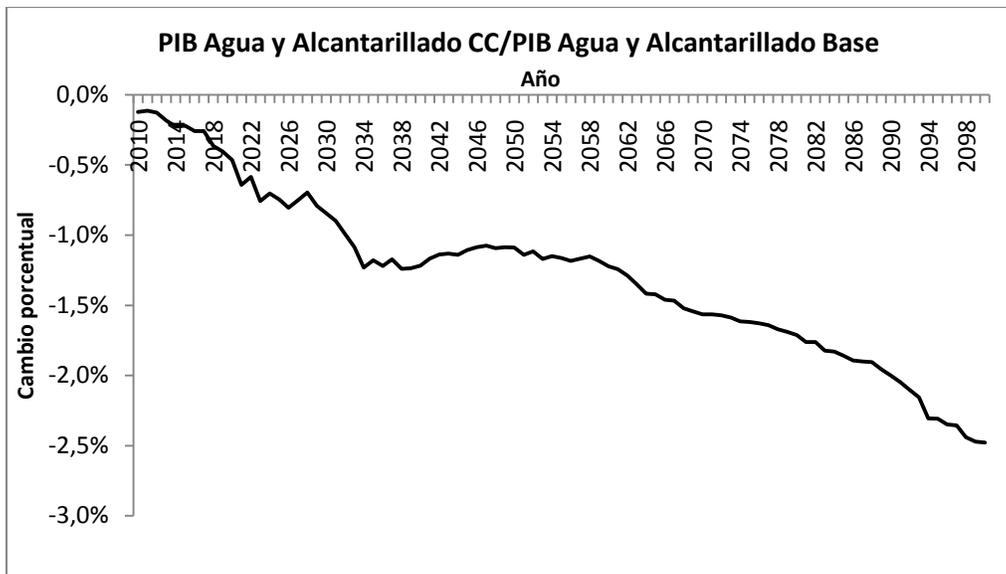
Gráfico 21. Pirámides de poblacionales para años seleccionados



Fuente: SDAS-DNP

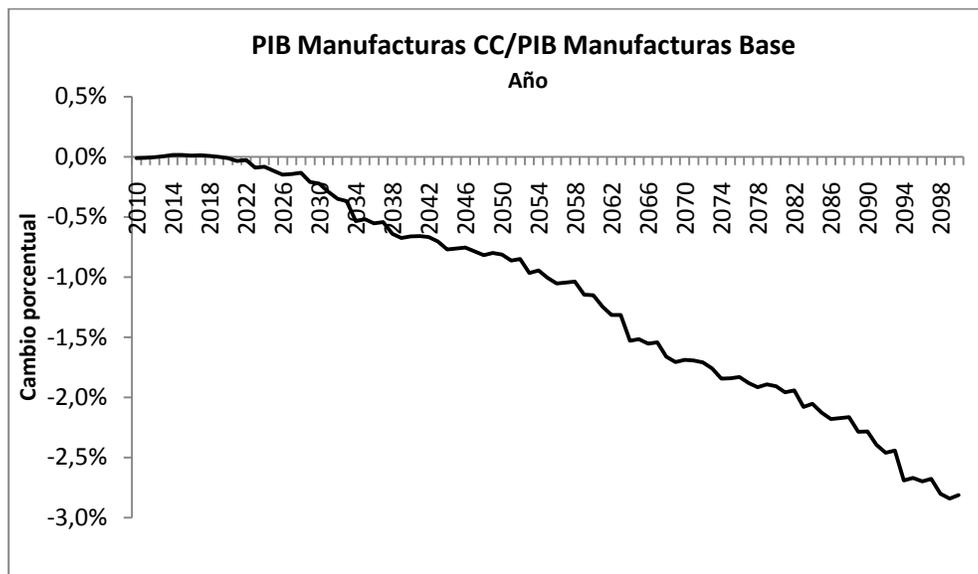
Anexo 4. Gráficos del Efecto del CC sobre Distintos Sectores Productivos

Gráfico 12. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de agua, alcantarillado y desecho de residuos en el escenario A1B



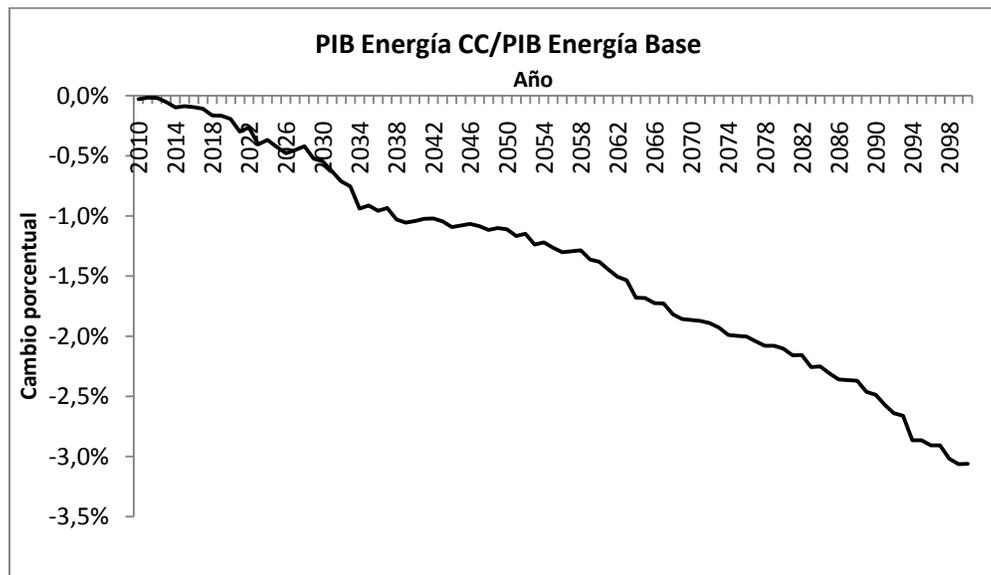
Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 23. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de manufacturas en el escenario A1B



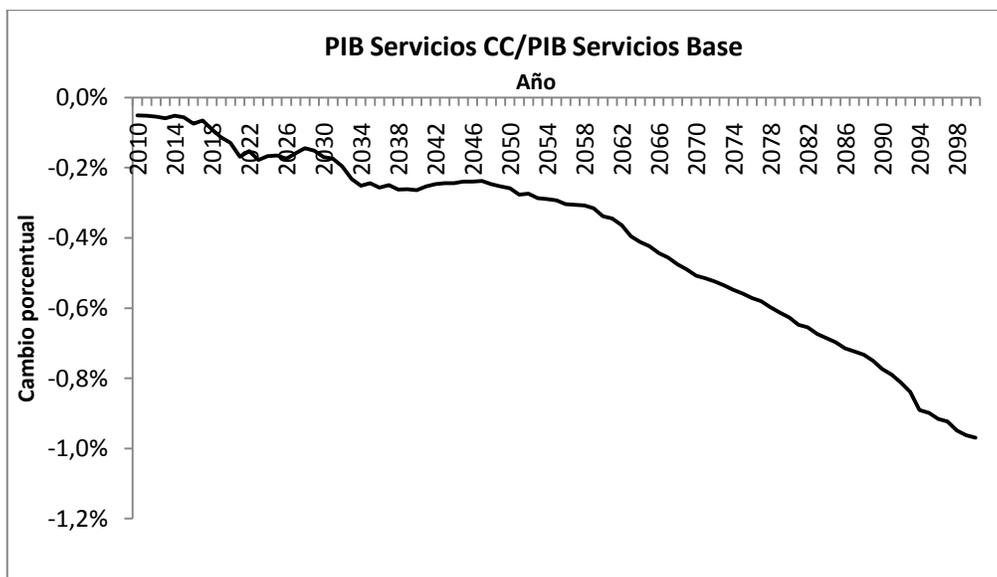
Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 22. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de energía en el escenario A1B



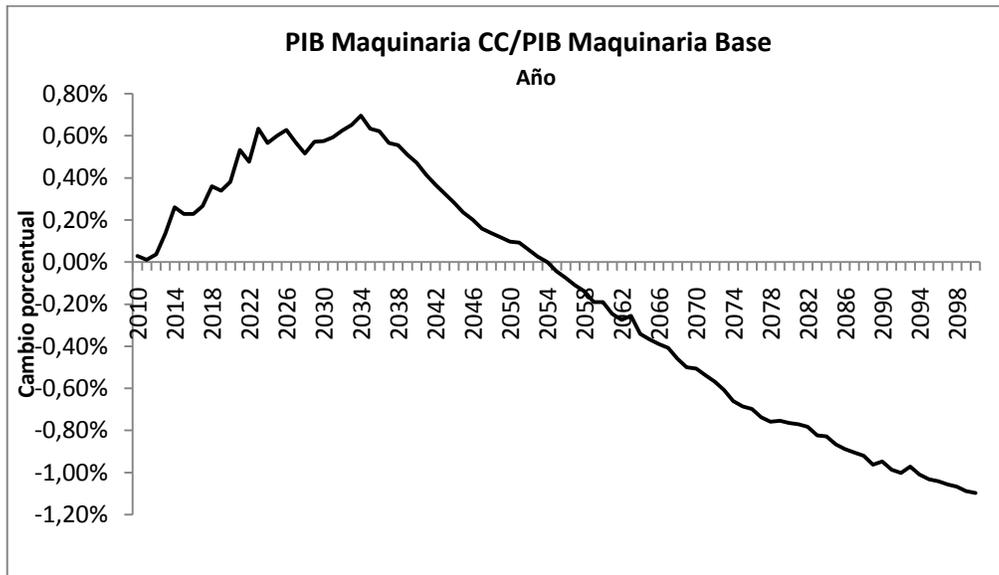
Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 23. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de servicios en el escenario A1B



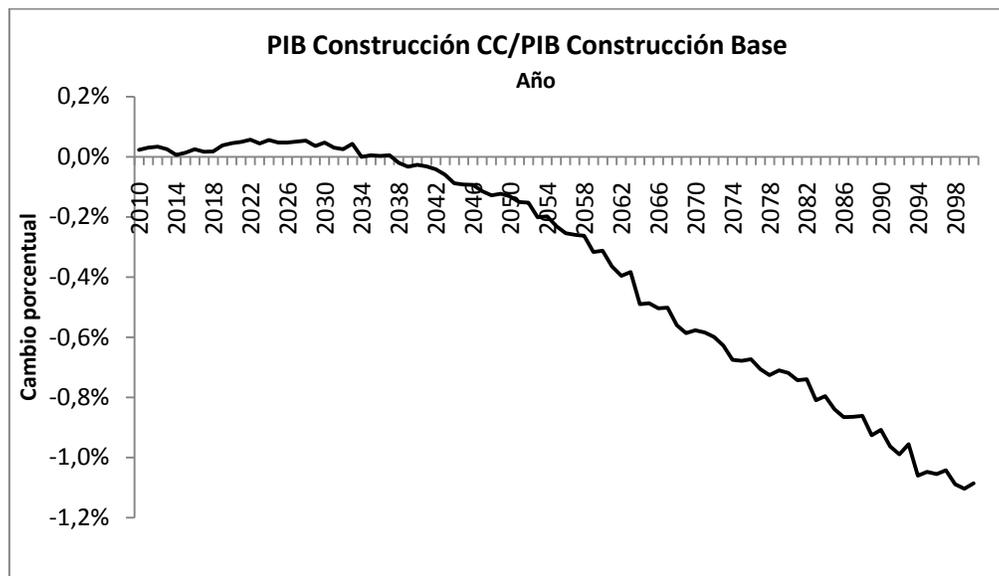
Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 24. Cambio porcentual entre el BAU y el choque del CC para la producción de maquinaria en el escenario A1B



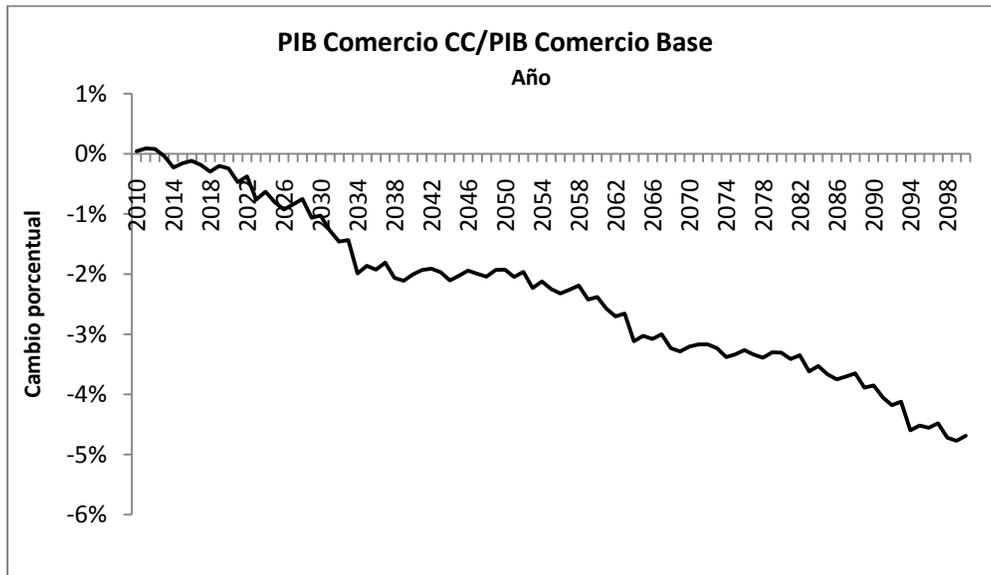
Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 25. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de construcción en el escenario A1B



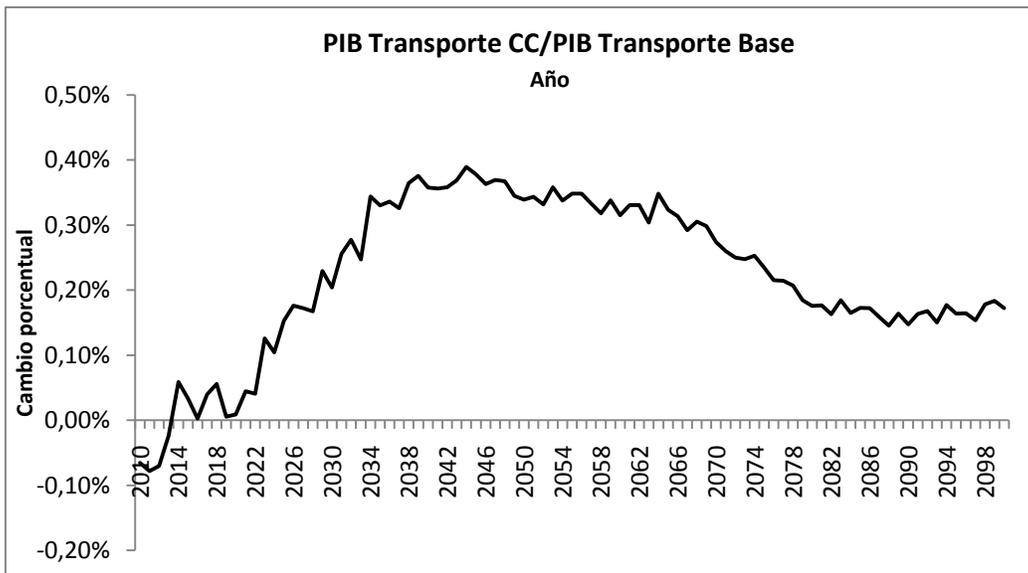
Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 26. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de comercio en el escenario A1B



Fuente: SDAS-DNP

Gráfico 27. Cambio porcentual entre el BAU y el choque de CC para la producción de transporte en el escenario A1B



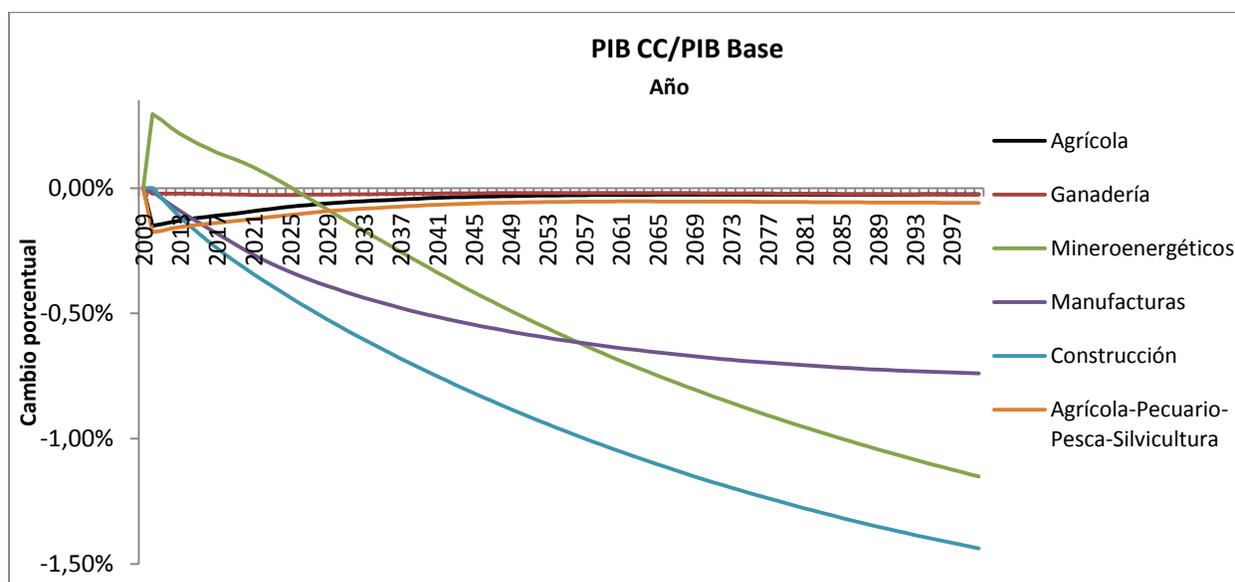
Fuente: SDAS-DNP

Anexo 5. Caracterización del MEG4C: Propagación de Impactos y Sensibilidad

A5.1. Propagación de Impactos

Con el objetivo de caracterizar el modelo en términos de la importancia en el largo plazo de los impactos a la productividad, dependiendo del sector en el que se aplican, se realizó un ejercicio que consistió en introducir una disminución del 1% en la productividad de cada sector (de manera independiente, no se impactaron varios sectores a la vez). A continuación, se estimó la manera cómo esta perturbación se propaga a lo largo de toda la economía en el tiempo, calculando la pérdida de PIB con respecto al escenario base (BAU).

Gráfico 8. Cambio porcentual entre el BAU y el PIB después de un impacto de -1% en la productividad del sector indicado.



Fuente: SDAS-DNP

En el Gráfico 30 se presentan los sectores que en general representan mayores pérdidas de PIB. Estos sectores son minero-energéticos, que alcanza una pérdida de PIB del 1,15% con respecto al BAU en 2100, construcción con 1,44% y manufactura con 0,74% para el mismo año. Es importante resaltar que ninguno de los sectores mencionados es impactado directamente por variables climáticas, ya que debido a la naturaleza del ejercicio, los efectos positivos o negativos llegan a estos sectores por medio de las relaciones con los sectores impactados (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca).

Por otro lado, agricultura, ganadería, silvicultura y pesca si tienen efectos directos sobre su productividad en el ejercicio realizado. En el Gráfico 30 se presentan los dos primeros por ser los más representativos. Es de notar que para este ejercicio, ninguno de los dos llega a provocar una pérdida que supere el 0,5%. Con el fin de ilustrar comparativamente estos resultados, en el

Gráfico 30 se muestra que el efecto de aplicar la disminución de 1% en la producción de cada uno de los sectores impactados al mismo tiempo, es muy inferior al efecto del impacto en cualquiera de los sectores que se muestran generando las mayores pérdidas (construcción, manufactura y minero-energético).

A5.2. Análisis de Sensibilidad

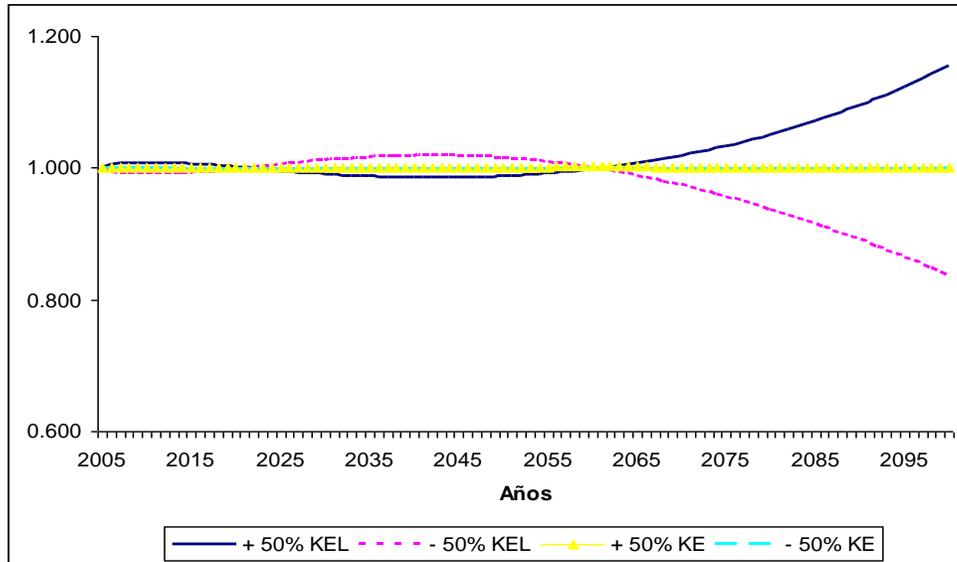
La calibración del MEG4C es el proceso por medio del cual se logra que las ecuaciones del modelo reproduzcan el año base, en este caso el año 2005, por esa razón uno de los parámetros claves del modelo son las elasticidades. Estas elasticidades provienen de dos fuentes principalmente: estimaciones econométricas y calibración con base en comportamientos históricos.

Dado que uno de los principales objetivos del MEG4C es la evaluación de costos ambientales (los cuales están basados en el comportamiento de la producción de los sectores), las elasticidades entre el paquete capital – energía y el trabajo (σ_{KEL}) y la elasticidad entre capital y energía (σ_{KE}) representan parámetros claves del modelo sobre los cuales se quisiera analizar la sensibilidad de los resultados a cambios en los valores de éstos.

En el MEG4C se utilizaron, tanto para la construcción del BAU como para las simulaciones con CC, las elasticidades del modelo GREEN. Estas elasticidades son 0,12 para σ_{KEL} en el caso de que la función de producción utilice capital viejo y 0,8 para capital nuevo. Lo anterior implica que el capital viejo tiene una menor sustituibilidad que el capital nuevo con respecto al trabajo. De otra parte, para la combinación del paquete del capital – energía, la elasticidad σ_{KE} es de 0,01 cuando se utiliza el capital viejo y de 0,8 para el capital nuevo, esto es, otra vez, una menor sustituibilidad del capital viejo, pero en este caso, con respecto a la energía.

Para realizar el ejercicio de sensibilidad, se varió la elasticidad de σ_{KEL} y σ_{KE} en $\pm 50.0\%$ en el escenario BAU y en el que incorpora los choques de CC. El Gráfico 30 muestra el análisis de sensibilidad con respecto a la trayectoria del BAU. Se observa que al cambiar la elasticidad σ_{KE} , esto es, la sustitución entre capital y energía, el efecto es imperceptible, ahora bien, cuando se realiza el mismo ejercicio para la elasticidad σ_{KEL} , se observan algunas discrepancias en la trayectoria del BAU; sin embargo, estas discrepancias son pequeñas (0,002 puntos porcentuales).

Gráfico 31. Sensibilidad del BAU con respecto a las elasticidades (Efecto sobre el PIB)

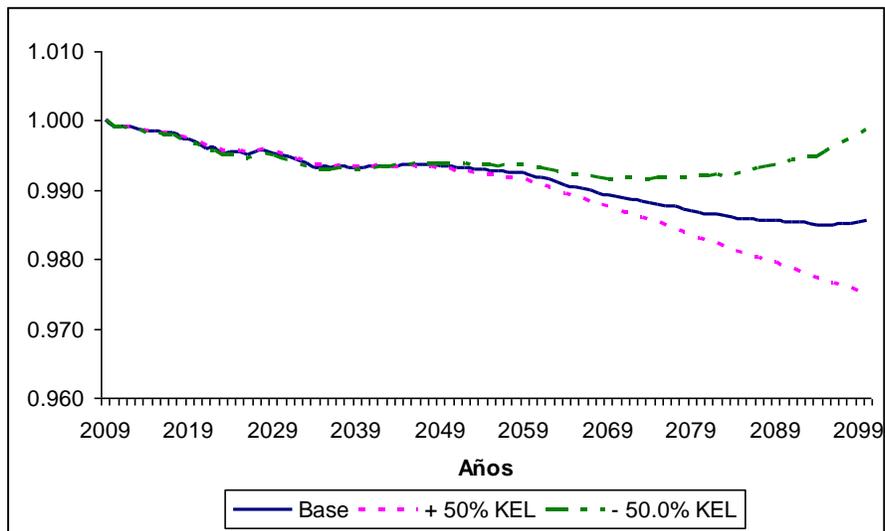


El cálculo se realiza anualmente con respecto al BAU, cambiando en $\pm 50.0\%$ las elasticidades.
Fuente: SDAS-DNP

Finalmente, el Gráfico 32 muestra la sensibilidad del choque de CC al cambio en las elasticidades de σ_{KEL}^{24} para el sector agropecuario. Como se puede observar, se presentan cambios en la trayectoria de crecimiento del PIB; sin embargo, estos no son muy significativos (0,003 puntos porcentuales). Es así como se concluye que los resultados del ejercicio son bastante robustos ante cambios en las elasticidades σ_{KEL} y σ_{KE} .

²⁴ Se tomo como referencia estas elasticidades porque como se observa en el **Error! Reference source not found**.Gráfico 30, para las elasticidades de σ_{KEL} no se ven cambios considerables en la trayectoria del BAU.

Gráfico 9. Sensibilidad del choque de CC sobre el sector agropecuario en el escenario A1B (efecto sobre el PIB)



El cálculo se realiza anualmente con respecto al BAU. Cambiando en $\pm 50.0\%$ la elasticidad de la producción.
Fuente: SDAS-DNP