



Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia:

COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS 2015



DNP Departamento
Nacional
de Planeación



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



BID

IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS

Fernando Jaramillo, Mónica A. Gómez, Silvia Calderón,
Germán Romero, Daniel A. Ordóñez, Andrés Álvarez,
Leonardo Sánchez-Aragón, Carlos E. Ludeña.





Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Costos Económicos de los Eventos Extremos / Fernando Jaramillo, Mónica A. Gómez, Silvia Calderón, Germán Romero, Daniel A. Ordóñez, Andrés Álvarez, Leonardo Sánchez-Aragón, Carlos E. Ludeña.

p. cm. — (Monografía del BID ; 260)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Economic impact analysis—Colombia. 2. Climatic changes—Colombia. 3. Natural disasters—Economic aspects—Colombia. 4. Risk management—Colombia. I. Jaramillo, Fernando. II. Gómez, Mónica A.. III. Calderón, Silvia. IV. Romero, Germán. V. Ordóñez, Daniel A.. VI. Álvarez, Andrés. VII. Sánchez-Aragón, Leonardo. VIII. Ludeña, Carlos E. IX. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. X. Series. IDB-MG-260

Clasificación JEL: Q54, Q25, O47

Palabras clave: cambio climático, desastres naturales, crecimiento económico, equilibrio general, Colombia

Este documento es uno de los análisis sectoriales que conforman la serie "Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia" del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), desarrollado en conjunto con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América Latina y el Caribe, coordinado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

El presente documento fue preparado por Fernando Jaramillo y Mónica A. Gómez (Universidad del Rosario), bajo la coordinación de Silvia Calderón, Germán Romero, Daniel A. Ordóñez y Andrés Álvarez, Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Carlos Ludeña y Leonardo Sánchez-Aragón (BID), y los aportes de Carlos de Miguel, Karina Martínez y Mauricio Pereira (CEPAL). Se agradece a Alexander Martínez por el material fotográfico aportado.

Citar como:

Jaramillo, F., M. A. Gómez, S. Calderón, G. Romero, D. A. Ordóñez, A. Álvarez, L. Sánchez-Aragón y C. E. Ludeña. 2015. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Costos Económicos de los Eventos Extremos. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 260, Washington D.C.

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra está bajo una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

<http://www.iadb.org>



Contenido

IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA: COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.	EFFECTOS Y DETERMINANTES DE LOS DESASTRES NATURALES EN COLOMBIA	11
3.1.	Metodología	12
3.2.	Estrategia de estimación	15
3.3.	Información	18
3.4.	Resultados	21
	Efectos de los desastres sobre el PIB	21
	Determinantes de los desastres naturales	24
4.	MODELO DE CRECIMIENTO CON GESTIÓN	26
4.1.	Metodología	26
4.2.	Calibración del Modelo	32
4.3.	Resultados	34
	Efecto de un aumento permanente en la tasa desastres	35
	Efecto de una disminución de la maquinaria y las viviendas ubicadas en zonas de riesgo	36
	Efecto de un aumento en la proporción del gasto destinado a la gestión de riesgo de desastres naturales	37
5.	GESTIÓN DEL RIESGO Y DESASTRES EN EL MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE	39
5.1.	Metodología	39
5.2.	Calibración del Modelo	42
5.3.	Resultados	42
	Efecto de un aumento permanente en la tasa desastres	42
6.	RECOMENDACIONES DE POLÍTICA Y REFLEXIONES	43
7.	CONCLUSIONES	45
	BIBLIOGRAFÍA	46
	ANEXO I. Estimaciones econométricas	48
	ANEXO II. Pruebas de robustez a las regresiones	49



Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS

En la presente investigación se analizan las interrelaciones entre el crecimiento económico y los desastres naturales, desde un punto de vista eminentemente macroeconómico. Para el estudio de dichas interrelaciones, se utilizaron cuatro instrumentos diferentes: regresiones con un panel de datos departamental, regresiones con un panel de datos municipal, un modelo dinámico con un modelo de gestión de riesgo con expectativas racionales y, finalmente, un modelo recursivo de equilibrio general muy detallado de la economía colombiana.

Tanto las regresiones departamentales, como los ejercicios con el modelo de equilibrio general recursivo (MEGDES) predicen que un incremento permanente de 20% en el componente exógeno de los desastres naturales genera una caída de 1,5% en el PIB de largo plazo. Tanto las simulaciones, como los ejercicios econométricos, evidencian un efecto significativo de los desastres sobre el PIB de largo plazo, y viceversa.



1

Introducción

La frecuencia e intensidad de los desastres naturales ha aumentado de manera progresiva en los últimos años. En particular, cada vez se presentan más desastres asociados a eventos climáticos extremos. Este incremento en los desastres naturales se debe, en parte, a la creciente concentración de la población en áreas urbanas y al cambio climático generado por el calentamiento global (Freeman et al. 2003).

El efecto de los eventos climáticos extremos varía dependiendo de las condiciones socioeconómicas del lugar en que ocurra. Un fenómeno natural de igual intensidad puede generar pérdidas de diferente magnitud debido a las características particulares de los países o regiones. En economías subdesarrolladas, los patrones socioeconómicos de desarrollo y la falta de políticas efectivas de prevención de desastres hacen que un evento natural extremo se convierta en un desastre de gran magnitud. Al respecto, Cavallo y Noy (2010) afirman que algunas políticas que pueden aminorar el impacto de los desastres naturales, incluyendo la planificación de uso del suelo, los códigos de construcción y las intervenciones de ingeniería, son escasas en los países en vías de desarrollo.

Del mismo modo, varios autores han resaltado la relación que existe entre el nivel de desarrollo económico de un país y el riesgo de que se produzca un desastre ante la ocurrencia de un fenómeno natural extremo. Freeman et al. (2003) afirman que entre 1990 y 1998, el 94% de los desastres más grandes en el mundo ocurrieron en países en vías de desarrollo. Por su parte, Michel et al. (2012) encuentran que durante el periodo de 1970 a 2008, cerca del 95% de las muertes causadas por los desastres naturales ocurrieron en países subdesarrollados y lo mismo sucede con las pérdidas económicas. En efecto, en los países de ingreso medio, las pérdidas económicas equivalen a un 1% del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que en los desarrollados las pérdidas son menores al 0,1%.

Asimismo, los fenómenos naturales que afectan la acumulación de capital físico y humano, que además destruyen los recursos naturales tienen un fuerte impacto sobre el crecimiento de corto y largo plazo. En la actualidad, no existe un consenso generalizado sobre el signo del impacto debido a que los resultados varían dependiendo del tipo de economías que se analicen, del tipo de desastres (climáticos, geológicos, intensivos, extensivos) y en muchos casos de la metodología y tipología de los datos que se utilice en el análisis. Sin embargo, no es ambiguo el resultado de que en las economías en desarrollo los desastres naturales tienden a profundizar los problemas de pobreza y desigualdad, debido a que la población más vulnerable a estos fenómenos es la más pobre (Banco Mundial, 2012). De un lado, la falta de recursos les impide iniciar un proceso de reconstrucción, por lo que solo dependen de la ayuda del Gobierno. De otro lado, su ubicación en zonas vulnerables a la ocurrencia de desastres hace que sean más propensos a sufrir daños físicos y materiales posteriores.

En consecuencia, dado que la interacción entre la actividad humana y el medio ambiente influye fuertemente en el efecto de un evento natural y éste, a su vez, tiene consecuencias negativas sobre el nivel de desarrollo económico y la calidad de vida de la población, se hacen necesarias políticas y mecanismos de prevención y atención de desastres que lleven a una disminución considerable en el impacto de los fenómenos naturales. En efecto, con el fin

de proteger a la población más vulnerable y reducir el daño en la infraestructura física, los Gobiernos y las administraciones locales deben considerar estrategias de manejo de riesgo para hacer frente a los desastres naturales.

Para el diseño de estrategias de prevención, mitigación y atención de desastres se debe tener en cuenta las necesidades y condiciones específicas de cada región. En un país como Colombia, donde hay grandes diferencias geográficas, económicas y culturales dentro de su mismo territorio, las políticas se deben ceñir a las necesidades y condiciones específicas de cada región.

En el presente trabajo se pretende analizar el impacto que tienen los desastres naturales sobre el nivel de desarrollo económico y, a su vez, el efecto de las condiciones socioeconómicas de la población sobre la ocurrencia y magnitud de los desastres naturales en la economía colombiana, mediante la modelación econométrica y un modelo de equilibrio general dinámico de gestión de riesgo de desastres. Los modelos presentados en este estudio tienen la finalidad de proveer un conocimiento más amplio sobre el efecto y los determinantes de los desastres naturales en la economía colombiana y, a su vez, brindar una herramienta que permita a los Gobiernos dirigir su inversión en gestión de riesgo de una forma más efectiva.

Proteger a la población más vulnerable y reducir el daño en la infraestructura física hacen parte de un conjunto de acciones adicionales que se deben tomar al considerar el reto que el cambio climático impone sobre el desempeño de sectores económicos que son dependientes de la oferta climática (BID-CEPAL-DNP, 2014).

Para medir el impacto de los desastres naturales sobre el crecimiento económico, se realiza una estimación de un sistema de ecuaciones en el que los desastres determinan el PIB y viceversa. Para esto, se realizan dos tipos de regresiones: en primer lugar, un conjunto de regresiones en las que se incluyen las dimensiones tiempo y espacio, mediante un panel de datos quinquenal, a nivel departamental, para el periodo 1980-2010. En segundo lugar, regresiones de corte transversal, a nivel municipal, con información socioeconómica y de desastres naturales promedio.

Los ejercicios econométricos anteriormente descritos, se complementan con una serie de simulaciones de los efectos de los desastres sobre el crecimiento económico, con base en dos modelos alternativos de equilibrio general. En primer lugar, se diseña un modelo de equilibrio general dinámico estocástico con expectativas racionales (DSGE por sus siglas en inglés), con crecimiento endógeno y desastres naturales que afectan la acumulación de capital. En segundo lugar, se construye un modelo de equilibrio general computable con desastres naturales, basado en el modelo de equilibrio general computable de cambio climático para Colombia (MEG4C) del Departamento Nacional de Planeación (DNP). Dichos modelos fueron calibrados con base en las regresiones anteriormente descritas y con información sobre la magnitud y efectos de los desastres naturales en Colombia.

Estos dos modelos de equilibrio general permiten obtener un conocimiento más amplio de los efectos de los desastres naturales sobre la dinámica de la economía en su conjunto (dinámica sobre crecimiento, inversión, consumo, acervo de capital, entre otros). Además, sirven como instrumento para el apoyo y diseño de políticas en el manejo del riesgo ambiental.



El presente documento se encuentra organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta una breve revisión de la literatura. En la sección 3 se analizan los efectos y determinantes de los desastres naturales en Colombia, a partir de las regresiones a nivel departamental y municipal. En la sección 4, se explica el modelo económico de gestión de riesgo de desastres con crecimiento endógeno y se presentan sus resultados. Por su parte, en la sección 5 se explica la metodología utilizada para incorporar el modelo de gestión de riesgo en modelo de equilibrio general computable (MEG4C). En la sección 6 se presentan las recomendaciones de política y reflexiones. Por último, en la sección 7 se presentan las conclusiones.

2

Revisión de literatura

La literatura sobre los desastres naturales se puede dividir en dos grandes ramas. De un lado, están los trabajos que se orientan a analizar el efecto de corto y largo plazo de los desastres naturales sobre el crecimiento económico; del otro, están los trabajos que analizan la influencia de las características socioeconómicas de los países que influyen sobre la magnitud y ocurrencia de los desastres naturales (Toya y Skidmore, 2005; Khan, 2005).

Con respecto a los primeros, el método más utilizado para estimar los efectos macroeconómicos de los desastres naturales consiste en ampliar las regresiones de crecimiento al estilo de Barro (1991) e Islam (1995), para incorporar diferentes indicadores de frecuencia o intensidad de los desastres naturales, al igual que variables explicativas adicionales del crecimiento económico. Siguiendo a Cavallo y Noy (2010), la mayoría de estos trabajos estiman un modelo de la forma:

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \alpha_0 - \alpha_1 y_{i,t-1} + \beta X_{i,t} + \gamma D_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

donde $y_{i,t}$ es el logaritmo del Producto Interno Bruto per cápita (PIBp), $X_{i,t}$ es un grupo de variables control que afectan el crecimiento económico, tales como el nivel de educación, el grado de apertura, la profundidad del sistema financiero, el consumo del gobierno, entre otros. La variable $D_{i,t}$ es una medida de la magnitud de los desastres ocurridos en una región i en el periodo t . Algunos trabajos utilizan el número de muertos y heridos, y/o los daños ocasionados por los desastres como medida del impacto de los desastres naturales, mientras otros estudios utilizan el número de desastres acumulados.

Algunos trabajos utilizan el número de muertos y heridos o los daños ocasionados por los desastres como medida del impacto de los desastres naturales, mientras otros estudios utilizan el número de desastres acumulados. En los trabajos en los que se analiza el efecto de los desastres naturales sobre el crecimiento económico se realiza la estimación de la ecuación 1 mediante un panel de datos dinámico con información histórica de los desastres naturales y de las variables económicas, en cada uno de los países de la muestra. Los resultados de estas estimaciones, sin embargo, aún no son concluyentes, debido a que gran parte de estos estudios encuentran resultados diferentes, entre sí.

En los escritos que analizan la dinámica de corto plazo del PIB per cápita, se destaca el de Albala-Bertrand (1993), uno de los primeros que intenta describir empíricamente la

dinámica socioeconómica de los desastres naturales en los países en desarrollo. En Alba-Bertrand (1993), se parte de un conjunto de datos sobre 28 desastres ocurridos en 26 ciudades durante el periodo comprendido entre 1960 y 1979, encontrando que después de la ocurrencia de un desastre, el PIB per cápita se incrementa alrededor de 0,4%, la inflación no cambia y los déficits comercial y fiscal aumentan. Por su parte, en el trabajo de Raddatz (2007), donde se utiliza un vector de panel auto-regresivo, se encuentra que los desastres naturales tienen un impacto negativo sobre la dinámica del producto en el corto plazo. Otros trabajos, como el de Noy (2009), encuentran que después de un desastre natural de igual magnitud, las economías en desarrollo obtienen una mayor caída en la producción que las desarrolladas.

Los trabajos que analizan el efecto de largo plazo de los desastres naturales sobre el crecimiento económico también encuentran efectos contradictorios. Por ejemplo, en Skidmore y Toya (2002), se encuentra una correlación positiva entre la frecuencia de los desastres climáticos y el crecimiento económico, al utilizar regresiones simples con datos de corte transversal para el periodo 1960-1990, para 89 países. Por el contrario, Noy y Nualsri (2007), mediante datos de desastres naturales de 98 países y el uso de métodos de estimación de panel de efectos fijos y del Método Generalizado de los Momentos, encuentran que un desastre natural, que genere un choque negativo en el *stock* de capital humano, disminuye la tasa de crecimiento de la economía.

De igual modo, Jaramillo (2009) analiza la relación de largo plazo entre el impacto de los desastres naturales y el crecimiento económico. Mediante un panel de ocurrencia de desastres naturales en 113 países durante 36 años, estima un panel de efectos fijos y encuentra que los desastres naturales disminuyen el crecimiento de largo plazo. En los países donde los desastres naturales fueron devastadores, el impacto puede ser considerado como permanente. Del mismo modo, en el trabajo realizado por Cavallo et al. (2010), utilizando técnicas de evaluación de impacto, se encuentra que sólo los desastres extremadamente grandes tienen un impacto negativo sobre el crecimiento de corto y largo plazo. Sin embargo, este resultado se da sólo en el caso en el que los desastres naturales fueron seguidos por revoluciones políticas radicales. Una vez controlan por los cambios políticos, encuentran que ningún tipo de desastre natural, incluso los más extremos, tiene un efecto significativo sobre el crecimiento económico.

Para reconciliar estos resultados contradictorios hallados en la literatura, Loayza et al. (2012) separan las estimaciones por tipo de desastre y sector económico. Aplican un estimador panel de métodos generalizado de momentos dinámico a un conjunto de datos de países desde el año 1961 a 2005, encontrando que los desastres sí afectan el crecimiento económico, pero su efecto depende del tipo de desastre y del sector económico (las tormentas por ejemplo disminuyen el PIB agrícola, pero en los países en desarrollo aumentan el PIB industrial). Por otra parte, los autores encuentran que los desastres moderados pueden tener un efecto positivo sobre el crecimiento, mientras que los desastres severos no. Finalmente, encuentran que el crecimiento en los países en desarrollo es más sensible a los desastres naturales.

Con respecto a los trabajos que analizan la influencia de las características socioeconómicas de los países sobre la magnitud y ocurrencia de los desastres naturales, la mayoría estiman un modelo de la forma:



$$D_{i,t} = \alpha_0 + \beta Z_{i,t} + Int_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

Donde $Int_{i,t}$ es una medida de intensidad de los eventos naturales en el país o región i durante el periodo t (dependiendo del tipo de desastres, esta variable sería intensidad de los vientos, el nivel de precipitaciones, la escala de Richter, temperaturas máximas y mínimas etc.). Por su parte, el vector de variables $Z_{i,t}$ incluye variables socioeconómicas que según el criterio de cada autor influyen en el impacto de un desastre natural.

Siguiendo a Cavallo y Noy (2010), existen varios determinantes fundamentales hacia los cuales converge la literatura. Uno de ellos es la intensidad del fenómeno natural; mientras más fuerte sea la intensidad de un terremoto, un huracán, una sequía, o cualquier otro fenómeno natural, más probable es que ocurra un desastre. Sin embargo, es posible que fenómenos de poca intensidad tengan un gran impacto en las regiones más vulnerables, debido a características particulares de la región en que ocurra el desastre.

El tamaño del país es otra condición que, según varios autores, puede afectar la vulnerabilidad a los desastres naturales. Según Cavallo y Noy (2010), países más grandes, en términos de tamaño de la población, área terrestre o PIB per cápita tienen su riqueza más expuesta a los daños directos de los desastres naturales. Estos autores, utilizando técnicas de regresión simple, encuentran que los daños aumentan significativamente con la intensidad del evento natural, el nivel de desarrollo económico y el tamaño del país.

La tercera característica tiene que ver con los factores políticos e institucionales. Varios autores encuentran que en países con mejores instituciones se reduce el impacto del desastre. Kahn (2005) estima una regresión de mínimos cuadrados ordinarios y encuentra que las instituciones desempeñan un papel importante en la preservación de la vida de la población ante un desastre natural. Del mismo modo, en Raschky (2008) se encuentra que países con mejores instituciones (mayor estabilidad política y menor riesgo de expropiación) tienen menos víctimas y menores pérdidas económicas, ante la ocurrencia de un desastre natural.

El nivel de desarrollo económico también es considerado un factor determinante en el riesgo de desastres. Estudios como el de Kahn (2005), Freeman et al. (2003), Toya y Skidmore (2005), Raschky (2008), Jaramillo (2009) y Michel, et al. (2012) encuentran que mientras más ricos sean los países, menor es el daño económico y menor es la cantidad de víctimas.

El nivel de educación es otro factor que ha sido considerado en algunos trabajos como un determinante fundamental de la vulnerabilidad a los desastres naturales. En Blankespoor et al. (2010) se utilizan regresiones en las que la tasa de matrícula escolar femenina es una variable que reduce la vulnerabilidad de las familias a desastres climáticos. En efecto, la matrícula femenina está relacionada con el empoderamiento de la mujer en el manejo del riesgo climático. En el trabajo de Blankespoor et al. (2010) se encuentra que un aumento en la tasa de escolaridad femenina y del PIB per cápita disminuyen el impacto del desastre.

Otros autores plantean la existencia de una relación no lineal entre el nivel de desarrollo económico y el impacto del desastre. Esta relación implica la existencia de una curva de

Kuznets, donde los países más pobres no tienen mucho que perder por los desastres naturales, pero a medida que se desarrollan se incrementa su vulnerabilidad a los desastres naturales, debido a la urbanización y al incremento en los activos. Sin embargo, cuando alcanzan un cierto nivel de desarrollo, tienen mayor capacidad para protegerse contra el riesgo y para impulsar programas que disminuyen su vulnerabilidad a los desastres naturales.

En el trabajo de Kellenberg et al. (2008) se encuentra una relación no lineal entre los daños causados por desastres naturales y el nivel de ingreso. En su análisis, utilizan un panel de datos de desastres para 133 países desarrollados y en desarrollo, ocurridos en un periodo de 28 años. Utilizando el método de estimación de mínimos cuadrados generalizados y regresiones binomiales negativas, los autores encuentran que los riesgos de daños por inundaciones, deslizamientos, huracanes y otros fenómenos climáticos están relacionados con las opciones de reducción de riesgo (mecanismos de prevención) y de elección de la ubicación (en zonas de alto riesgo por ejemplo).

En consecuencia, la manera más apropiada de modelar este fenómeno es mediante la inclusión del logaritmo del PIB ($y_{i,t}$) y del logaritmo del PIB al cuadrado ($y_{i,t}^2$) como variables explicativas de la magnitud de los desastres naturales. En este caso, tanto el PIB y su valor al cuadrado hacen parte del vector de variables explicativas $Z_{i,t}$ y la ecuación 2 se puede expresar de la siguiente forma:

$$D_{i,t} = \alpha_0 + \beta_1 y_{i,t} + \beta_2 y_{i,t}^2 + \tilde{\beta} Z_{i,t} + Int_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

donde Z incluye los demás determinantes socioeconómicos. En el trabajo de Padli et al. (2010), mediante las estimaciones de corte transversal para el periodo 1985, 1995 y 2005 de la ecuación 3, se encuentra que el coeficiente asociado a $y_{i,t}$ es de signo negativo, lo que indica que en promedio los países o regiones más ricos están mejor preparados para afrontar un desastre natural y, a su vez, pueden reducir las secuelas del impacto económico del desastre. Por su parte, el coeficiente asociado a $y_{i,t}^2$ es de signo positivo. Esto indica que el desarrollo económico ofrece protección ante el riesgo, pero lo hace a una tasa decreciente. Resultados similares son encontrados en Toya y Skidmore (2005) y Padli (2009).

3

Efectos y determinantes de los desastres naturales en Colombia

El efecto inmediato de un desastre natural es la destrucción o daño de la infraestructura física, de los recursos naturales y, en muchos casos, del capital humano del país. Estas variables juegan un papel fundamental en la determinación del crecimiento económico de corto y largo plazo de una economía. Al mismo tiempo, las características socioeconómicas de los países influyen en la determinación de la magnitud de los desastres naturales (número de víctimas y daños materiales). La ubicación en zonas de alto riesgo de desastre, la deforestación y erosión del suelo, los procesos de urbanización no controlados ni planeados, la falta de políticas efectivas de prevención y mitigación de desastres naturales, son



factores que aumentan la probabilidad de que un evento natural extremo produzca graves daños a la población y a la infraestructura física.

Debido a que los desastres relacionados con las inundaciones, los deslizamientos y las tormentas y vientos, representan el 95,3% del total de desastres climáticos ocurridos en todo el país desde 1970, en el presente trabajo se analizan los efectos y los determinantes de los desastres naturales asociados a la variabilidad climática en Colombia. En la tabla 1 se puede observar que el 48,7% de los desastres ocurridos durante el periodo 1970-2010 corresponden a inundaciones, el 28,2% a deslizamientos y el 18,4% a precipitaciones y vientos.

Para efectos del análisis, siguiendo la literatura internacional sobre desastres y la información disponible a nivel nacional, las pérdidas ocasionadas por los desastres climáticos, se dividieron en tres grandes categorías: muertos y desaparecidos (MD), muertos, desaparecidos, heridos, afectados y damnificados (MHAF) y viviendas afectadas y destruidas (VIVAF). El tipo de desastre climático que ha generado más pérdidas en términos de vidas humanas es el asociado a deslizamientos, con un 55,7% de los muertos y desaparecidos. Le siguen las tormentas y vientos con un 24,0%, las inundaciones con un 18,8% y las sequías con un 0,5%.

Cuando se tienen en cuenta, además a los heridos, afectados y damnificados, pasan a ser las inundaciones, las que más personas afectadas generan. En este caso, el 65,4% de los MHAF son ocasionados por inundaciones y el 15,1% por desastres asociados a tormentas y vientos, mientras que el 9,4% son producto de las sequías. En cuanto a pérdidas en términos de viviendas afectadas y destruidas, las inundaciones generan el 79,1% de las mismas, las tormentas y vientos el 13,3%, los deslizamientos el 7,5% y las sequías solo el 0,1%.

Tabla 1. Participación por tipo de impacto de los eventos naturales climáticos en Colombia, 1970-2010 (porcentaje)

Tipo de evento	Desastres	Muertos y desaparecidos (MD)	Muertos, desaparecidos, heridos, afectados y damnificados (MHAF)	Viviendas afectadas y destruidas (VIVAF)
Inundaciones	48,7	19,8	65,4	79,1
Deslizamientos	28,2	55,7	9,9	7,5
Tormentas y vientos	18,4	24,0	15,1	13,3
Sequías	4,7	0,5	9,4	0,1

Fuente: Desinventar y cálculos propios

3.1. Metodología

Para analizar los efectos y determinantes de los desastres naturales en Colombia, se realizan dos tipos de modelación econométrica. De un lado, se determina el efecto de los desastres naturales sobre el crecimiento económico mediante un panel de datos quinquenal, a nivel departamental para el periodo 1980-2010 (regresiones departamentales).

Adicionalmente, debido a la falta de información histórica de variables como la población ubicada en zonas de alto riesgo de desastres naturales o la calidad institucional, se realiza un análisis a nivel municipal con datos de corte transversal (regresiones municipales), para analizar los determinantes de los desastres naturales en el país.

Regresiones departamentales

Siguiendo la literatura internacional sobre el efecto de los desastres naturales sobre el crecimiento económico a nivel departamental, se estima una regresión al estilo de Barro (1991) e Islam (1995), en la que el crecimiento del PIB per cápita de un departamento de Colombia, en un quinquenio determinado depende del PIB per cápita inicial, de la educación, de la tasa de desastres y de otras variables socioeconómicas¹. Esta estimación está descrita por la ecuación 4:

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \alpha_0 - \underbrace{\hat{\alpha}_1}_{(-)} y_{i,t-1} + \underbrace{\alpha_2}_{(-)} D_{i,t} + \underbrace{\alpha_3}_{(-)} Da_{i,t-1} + \underbrace{\alpha_4}_{(+)} Tbm_{i,t} + \underbrace{\alpha_5}_{(+)} Den_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

en donde $y_{i,t}$ es el logaritmo del Producto Interno Bruto per cápita PIB per cápita, $D_{i,t}$ es una medida de la tasa de los desastres ocurridos en el departamento i en el periodo t , $Da_{i,t-1}$ es la tasa de desastres promedio desde 1970 hasta el quinquenio $t-1$, $Tbm_{i,t}$ es una medida del nivel de educación departamental, $Den_{i,t}$ es la densidad de población del departamento y es el término de error. Los desastres se calculan como una tasa, dividiendo el número de desastres anuales por la población.

Como se mencionó anteriormente, la ecuación 4 está basada en la literatura teórica contemporánea sobre el crecimiento económico. De acuerdo a esta teoría, el crecimiento de una economía puede depender negativamente del PIB per cápita inicial, debido a la existencia de rendimientos marginales decrecientes en los factores que se pueden acumular, tales como el capital físico y humano. Ésta es la llamada teoría de la convergencia económica, en la que las regiones más pobres deben crecer más que las ricas. Sin embargo, también es posible que el crecimiento de una región no dependa de su nivel inicial de desarrollo, debido a que su atraso económico le impone cuellos de botella y trampas de pobreza que dificultan el crecimiento. Este tipo de predicciones se encuentra en las teorías tradicionales de desarrollo económico (Barro y Sala-i-Martin, 2004). En consecuencia, el signo del efecto del PIB per cápita inicial sobre el crecimiento regional (coeficiente en la ecuación 4) puede ser positivo o negativo, dependiendo de la situación de cada región.

Adicionalmente, el crecimiento económico depende del capital humano existente en la región o, alternativamente, de la inversión en educación representada por la tasa bruta de matrícula en escuela secundaria ($Tbm_{i,t}$). En la literatura sobre crecimiento económico existe un consenso generalizado en torno al efecto positivo de la educación sobre el crecimiento económico. Por lo tanto, se espera que el signo del coeficiente (α_4) sea positivo.

¹ Se ensayó de manera alternativa, la densidad de población del departamento, las exportaciones departamentales con relación al PIB, la tasa de homicidios.



En la ecuación 4, también se observa que los desastres naturales, tanto contemporáneos como rezagados, pueden afectar la tasa de crecimiento de la economía. Los contemporáneos porque destruyen parte de la producción, del capital físico y humano del periodo. Los rezagados por que las decisiones de inversión en capital físico y humano contemporáneas dependen de rentabilidad de este tipo de inversiones, las cuales están afectadas por la frecuencia e intensidad históricas de los desastres naturales en la región. De acuerdo a la teoría económica, el efecto de los desastres contemporáneos y rezagados sobre el crecimiento económico debe ser negativo.

Finalmente, en la especificación final del modelo, se escoge la densidad de la población como variable socioeconómica adicional para explicar el crecimiento económico. De acuerdo a la teoría económica sobre crecimiento regional, la aglomeración geográfica de las personas facilita los procesos de aprendizaje en la producción y reduce los costos de transacción entre los agentes, lo cual impulsa el crecimiento económico. Por lo tanto, se espera que la tasa de densidad influya positivamente sobre el crecimiento.

Para mejorar las estimaciones, se utiliza un indicador de la intensidad de las lluvias extremas ($LLuv_i$), como variable instrumental exógena, adicional a las normalmente utilizadas en el método GMM-system (Valores rezagados de las variaciones y niveles de las variables que entran en dicha ecuación). Este indicador es construido por los autores, con base en el índice estandarizado de lluvias, a partir de la información de precipitaciones mensuales, a nivel de estación. El indicador de lluvias extremas tiene en cuenta los eventos de lluvias que sobrepasan un nivel crítico alto, medido como el promedio de lluvias, más dos veces la desviación estándar de dichas precipitaciones.

Siguiendo a Islam (1995) y a Loayza et al. (2012), en la estimación de la ecuación 4 se utiliza como unidad temporal un quinquenio, para evitar que el crecimiento esté influenciado por variaciones coyunturales de la producción, debidas a la subutilización del capital físico o a fluctuaciones en la tasa de desempleo laboral. Sin embargo, a diferencia de Loayza et al. (2012), no se utiliza información a nivel de promedio de varios países, sino un panel de datos quinquenal para el periodo 1980-2010, con información sobre los desastres naturales y las variables económicas, en cada uno de los departamentos del país, incluyendo a Bogotá.

La estimación de la ecuación 4 permite evaluar el efecto de los desastres naturales sobre el crecimiento económico. Sin embargo, es interesante también cuantificar el efecto de diferentes variables socioeconómicas sobre el la tasa de desastres y sobre el PIB. La ausencia de series de tiempo suficientemente largas, sobre variables tales como las personas ubicadas en zonas de desastres, la calidad de las instituciones regionales, el gasto en gestión de riesgo, entre otras, crea la necesidad de recurrir a otro tipo de estrategia para estimar una ecuación, en la que aparezcan los principales determinantes de los desastres naturales en Colombia.

Regresiones Municipales

En el análisis de los determinantes de los desastres naturales en Colombia, se utilizan datos de corte transversal a nivel municipal para el año 2005, para estimar el siguiente sistema de ecuaciones:

$$D_i = \delta_0 + \underbrace{\delta_1}_{(-)} y_i + \underbrace{\delta_2}_{(+)} Pzr_i + \underbrace{\delta_3}_{(+)} LLuv_i + \underbrace{\delta_4}_{(+)} Inst_i + \epsilon_i \quad (5)$$

$$y_i = \beta_0 + \underbrace{\beta_1}_{(-1)} D_i + \underbrace{\beta_2}_{(+)} Edu_i + \underbrace{\beta_3}_{(+)} Dist_i + \underbrace{\beta_4}_{(+)} Rios_i + \epsilon_i \quad (6)$$

Donde, D_i es la tasa de desastres acumulados entre 1985 y 2005 en cada municipio i , y_i es el PIB per cápita municipal en el año 2005, Pzr_i es el porcentaje de la población o de las viviendas, ubicadas en zonas susceptibles a inundación en el año 2005. La variable $Inst_i$ es un indicador de la calidad de los gobiernos municipales, representado por el índice de capacidad administrativa (Ica). La variable $LLuv_i$ es el mismo índice de exceso de lluvias extremas utilizado en las regresiones departamentales. En este caso se espera que un incremento en PIB per cápita municipal reduzca la tasa de desastres, debido a que los agentes tienen más recursos para mitigar y prevenir los efectos de los desastres naturales.

Por otro lado, las economías con gran parte de la población ubicada en zonas riesgosas y con fuertes lluvias tienen mayores tasas de desastres. Finalmente, con respecto a la calidad de las instituciones, la evidencia empírica internacional muestra que en las regiones y países con peores instituciones, la magnitud de los desastres naturales es mayor.

Por su parte, en la ecuación 6, Edu_i corresponde al capital humano de la fuerza de trabajo del municipio, $Dist_i$ es el logaritmo de la distancia del municipio a los principales mercados, hom_i mide la tasa de homicidios por cada 100 mil habitantes y $Rios_i$ mide la longitud per cápita de los ríos primarios de cada municipio. Se espera entonces que el PIB per cápita municipal dependa negativamente de los desastres naturales y de la violencia municipal, y positivamente de la educación de la fuerza de trabajo, de la cercanía a uno de los principales mercados del país y de la presencia de ríos primarios.

Las ecuaciones 5 y 6 representan un modelo de ecuaciones simultáneas. En este caso, las variables D_i y y_i son endógenas. La proporción de la población en zonas susceptibles a inundación Pzr_i también se considera una variable endógena, debido a que la ocurrencia de los desastres afecta las decisiones futuras de localización en la zona en que ha ocurrido el evento. En efecto, una vez ocurrido el desastre, la probabilidad de que las personas se establezcan en esta área es menor (emigración). El resto de las variables se consideran exógenas o predeterminadas.

3.2. Estrategia de estimación

Efectos de los desastres sobre el PIB

Para la estimación de la ecuación 4 se utiliza un panel de datos quinquenal para el periodo 1980-2010, con información sobre los desastres naturales y las variables económicas



en cada uno de los departamentos del país, incluyendo Bogotá (solo la variable $Da_{i,t-1}$ tiene información desde 1970). Siguiendo a Islam (1995) y a Loayza et al. (2012), se utilizará como unidad temporal un quinquenio, para evitar que el crecimiento esté influenciado por variaciones coyunturales de la producción, debidas a la subutilización del capital físico o a fluctuaciones en la tasa de desempleo laboral.

La estimación de la ecuación 4 presenta varios problemas a tener en cuenta. En primer lugar, es necesario controlar por las características que son específicas de cada departamento y que no varían en el tiempo. Para la solución de este problema en particular se puede estimar un panel de efectos fijos que controla por el efecto departamento invariante en el tiempo. Sin embargo, en el caso de la ecuación 4 no es apropiado utilizar este método debido a que las variables explicativas no son estrictamente exógenas. De un lado, la variable dependiente está explicada por sus realizaciones pasadas ($y_{i,t-1}$, la variable dependiente, está correlacionado con el efecto fijo en el término de error). De otro lado, los desastres también son endógenos, debido a que los desastres naturales no sólo dependen de los eventos naturales, sino también del PIB per cápita del área en que ocurren.

Dados los problemas anteriores, la forma más apropiada para estimar la ecuación 4 es mediante el método generalizado de los momentos (GMM por sus siglas en inglés), aplicado a los modelos dinámicos de datos panel. Este método permite controlar por los efectos específicos de cada departamento y la endogeneidad conjunta.

Según Roodman (2009), este método está diseñado para situaciones con: 1) paneles con pocos periodos de tiempo y muchos individuos; 2) una relación funcional lineal; 3) ecuaciones dinámicas, donde la variable dependiente depende de sus realizaciones pasadas; 4) las variables independientes no son estrictamente exógenas, lo que implicaría que están correlacionadas con las realizaciones pasadas y posiblemente actuales del error; 5) efectos fijos individuales; 6) Heteroscedasticidad y autocorrelación entre los individuos, pero no a través de ellos. Además, en el caso en que no se cuenta con buenos instrumentos de los estimadores, el GMM utiliza los rezagos de las variables del modelo. Las situaciones 1) a 5) se hayan presente en panel dinámico departamental que se pretende estimar en este trabajo, por lo tanto, el GMM es el adecuado.

Con el fin de estimar econométricamente los parámetros de la ecuación 4 mediante el método GMM, conviene reescribirla de la siguiente forma:

$$y_{i,t} = \alpha_0 + \tilde{\alpha}_1 y_{i,t-1} + \alpha_2 tbm_{i,t} + \alpha_3 Den_{i,t} + \alpha_4 D_{i,t} + \alpha_5 Da_{i,t-1} + \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

Donde $\tilde{\alpha}_1 = (1 - \alpha_1)$. Diferenciando la ecuación 7 se obtiene la ecuación en diferencias:

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \tilde{\alpha}_1 \Delta y_{i,t-1} + \alpha_2 \Delta tbm_{i,t} + \alpha_3 \Delta Den_{i,t} + \alpha_4 \Delta D_{i,t} + \varphi \alpha_5 \Delta Da_{i,t-1} + \Delta \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

la cual puede ser estimada mediante el método GMM en diferencias de Arellano y Bond (1991), en el que se utilizan como instrumentos los valores de las variables endógenas con dos periodos de rezagos y las variaciones en las variables exógenas, si hay variables exó-

genas disponibles. Sin embargo, las primeras estimaciones de los modelos de crecimiento (Islam, 1995) mediante un panel de países y el método de Arellano y Bond (1991) fueron criticadas por la fragilidad de las variables endógenas rezagadas, como instrumentos del cambio en el logaritmo del PIB per cápita.

Según Blundell y Bond (1998) y Alonso-Borrego y Arellano (1999), cuando las variables explicativas son persistentes en el tiempo, tal como en el caso de los modelos de crecimiento resumidos por la ecuación 7, los niveles rezagados de estas variables son instrumentos débiles para la regresión de la ecuación en diferencias, con lo que se obtendrían coeficientes sesgados e ineficientes. La solución a este problema consiste en utilizar el estimador GMM con un sistema de ecuaciones (GMM-System), el cual estima un sistema que incluye la ecuación en niveles y en diferencias (ecuaciones 7 y 8). Para la ecuación en diferencias se toman, como instrumentos, los cambios en las variables exógenas y los niveles de las variables endógenas, estas últimas rezagadas dos periodos. Para la regresión en niveles, los instrumentos utilizados son las variables exógenas y las diferencias de las variables explicativas endógenas, estas últimas rezagadas un periodo.

En este trabajo se emplea el estimador GMM en sistema de Blundell-Bond (Blundell-Bond System GMM estimator), el cual es una extensión del GMM en diferencias de Arellano y Bond. Además, tal como recomiendan Bond, Hoeffler y Temple (2001), todas las variables están medidas en desviaciones con respecto al promedio del departamento en cada periodo, para evitar que las variables instrumentales usadas en la ecuación de niveles estén correlacionadas con el coeficiente fijo. Como ha sido ampliamente reseñado en la literatura, esta transformación es equivalente a incluir variables dicotómicas de tiempo en la regresión (Bond, Hoeffler y Temple, 2001).

Con esta transformación, la ecuación 7 se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\hat{y}_{i,t} = \alpha_0 + \tilde{\alpha}_1 \hat{y}_{i,t-1} + \alpha_2 \widehat{tbm}_{i,t} + \alpha_3 \widehat{Den}_{i,t} + \alpha_4 \widehat{D}_{i,t} + \alpha_5 \widehat{Da}_{i,t-1} + \hat{\mu}_i + \hat{\varepsilon}_{i,t} \quad (9)$$

Donde cada variable $\hat{y}_{i,t}$, $\widehat{tbm}_{i,t}$, $\widehat{Den}_{i,t}$, $\widehat{D}_{i,t}$, $\widehat{Da}_{i,t-1}$, $\hat{\mu}_i$, $\hat{\varepsilon}_{i,t}$, se define como la diferencia con respecto a la media de los departamentos para cada periodo t .

Determinantes de los desastres naturales

En el caso de las regresiones municipales, la estimación de las ecuaciones 5 y 6 por separado mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), sin considerar la otra ecuación del sistema, genera estimadores sesgados e inconsistentes (Gujarati, 1997). Como solución a este problema, se estima el sistema de ecuaciones simultáneas 5 y 6, utilizando el método de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E). Este método es ampliamente utilizado para la estimación de un sistema de ecuaciones simultáneas que están exactamente identificadas o sobre identificadas. Como se puede ver, ambas ecuaciones están sobre-identificadas (se cumple la condición de rango donde el número de variables exógenas o predeterminadas es mayor al número de coeficientes en cada regresión) y, por lo tanto, el método de MC2E es aplicable en este caso.



El método de MC2E consiste en regresar, en una primera etapa, las variables endógenas en función de las exógenas, con el fin de eliminar la correlación probable entre las endógenas y los errores de las regresiones originales. Adicional a las variables endógenas del sistema de ecuaciones 5 y 6, se incluye la variable a_{SI_i} , que representa el área en zonas susceptibles a inundación y se toma como instrumento de la variable Pzr_i .

Como producto de esta primera etapa se obtiene la estimación del valor medio de las variables endógenas condicional sobre las exógenas, \hat{y}_i y \widehat{Pzr}_i . En la segunda etapa, para el caso de la ecuación 5 se reemplaza y_i por \hat{y}_i y Pzr_i por \widehat{Pzr}_i y se realiza la regresión por MCO de la ecuación 10, en donde los coeficientes obtenidos son consistentes.

$$D_i = \delta_0 + \delta_1 \hat{y}_i + \delta_2 \widehat{Pzr}_i + \delta_3 LLuv_i + \delta_4 Ica_i + \epsilon_i \quad (10)$$

Desafortunadamente, la variable de Inversión per cápita en gestión de riesgo, no pudo ser incluida en la regresiones realizadas con información de desastres acumulados entre el periodo 1980-2005 debido a que no hay información disponible sobre esta variable para ese periodo. Sin embargo, se realizó un ejercicio econométrico con información disponible para el periodo 2004-2009, el cual se presenta en anexo I.

3.3. Datos

A continuación se describen las fuentes de información y la metodología que se utilizan para la construcción de las variables municipales y departamentales.

Datos a nivel departamental

La información de desastres naturales en Colombia utilizada en las regresiones departamentales y municipales proviene del sistema de inventario de desastres Desinventar². De los 39 tipos de eventos que se encuentran en esta base, se incluyen en este trabajo sólo los eventos asociados al clima que, a su vez, se agruparon en cinco grandes eventos: inundaciones, deslizamientos, precipitaciones y vientos, sequías y otros. Se analizan los efectos de estos desastres sobre la población y las viviendas, mediante las siguientes variables: promedio quinquenal de las tasas anuales de incidencia de los desastres, la tasa de viviendas afectadas y viviendas destruidas, la tasa de personas muertas, desaparecidas, heridas, afectadas, reubicadas, evacuadas, damnificadas. Estas tasas se construyen, dividiendo el número de desastres, o pérdidas totales durante el período, sobre la población departamental. Por su parte, para el cálculo del PIB departamental se empleó la información que produce y publicó el Departamento Nacional de Estadística (DANE) para treinta y tres regiones³.

2 La construcción de esta base ha estado a cargo de la corporación OSSO con la participación de la universidad EAFIT. Tiene una cobertura nacional, departamental y municipal y recopila datos preexistentes en fuentes hemerográficas y reporte de instituciones. Entre las fuentes hemerográficas se encuentra el periódico El Tiempo, El País, El Espectador, La Patria y entre las fuentes oficiales se encuentran ONAD, Oficina Nacional para la Atención de Desastres (1989-1994), DPAD Dirección de Prevención y Atención de Desastres (1995-2010).

3 Las treinta y tres regiones incluyen los treinta y dos departamentos más el distrito capital de Bogotá.

Como *proxy* del capital humano a nivel departamental se tomó la tasa bruta de matrícula en educación básica secundaria y media. Este indicador es calculado como el número total de alumnos matriculados en educación básica secundaria y media, dividida sobre la población con edades entre 12 y 17 años. Para la variable “número de alumnos matriculados en educación básica secundaria y media”, se utilizan los datos del DANE, los Boletines de Estadística y Colombia Estadística.

Para el indicador sobre la intensidad de las lluvias extremas (*LLuv_i*) se utiliza la información sobre las precipitaciones o el nivel de lluvias, provista por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información utilizada está a nivel de estación y mes, para el período 1980-2010 y esta variable se mide en milímetros (mm). A partir de estos datos se construye un índice de lluvias extremas conocido como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés). Para evitar las distorsiones que se pueden generar por el hecho de que algunos municipios tienen un promedio histórico muy bajo, o alto, para los cuales la diferencia con respecto al promedio histórico no es un buen predictor de los desastres históricos, se utiliza un indicador ajustado para cada municipio. En las regresiones a nivel departamental se construye una variable departamental quinquenal que utiliza como insumo este indicador, para cada uno de los meses y municipios de un departamento.

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) se construye en Colombia y a nivel internacional, a partir de los datos históricos de cada estación meteorológica, con base en la siguiente fórmula:

$$SPI_{i,m,a} = \frac{Prec_{i,m,a} - \mu_m^{prec}}{\sigma_m^{prec}} \quad (11)$$

Donde $Prec_{i,m,a}$ representa las precipitaciones del municipio i , en el mes m , del año a . Las variables μ_m^{prec} y σ_m^{prec} representan el promedio histórico y la desviación estándar de las lluvias del mes m de todos los municipios del país. Esta fórmula permite identificar los periodos en los que las lluvias de un municipio están muy por encima de su promedio histórico. En la tabla 2 se muestran los intervalos que se utilizan en la literatura para identificar los periodos de lluvias extremas, fuertes y los de sequías (Hurtado y Cadena, 2002).

Tabla 2. Clasificación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

SPI > 2,0	Lluvias extremas
1,5 < SPI < 1,99	Lluvias muy fuertes
1,0 < SPI < 1,49	Lluvias moderadamente fuertes
-0,99 < SPI < 0,99	Lluvias normales
-1,0 < SPI < -1,99	Mes moderadamente seco
SPI < -2,0	Muy por debajo de la media

Fuente: Hurtado y Cadena (2002).



Con este indicador de precipitaciones estandarizado se calcula el exceso de lluvias extremas con la siguiente fórmula:

$$DIF_{i,m,a} = \text{Max}[0, SPI_{i,m,a}^{\text{prec}} - 2]. \quad (12)$$

El indicador de lluvias extremas para un mes, en un departamento, es el promedio ponderado de los $DIF_{i,m,a}$ de los municipios del departamento, en dicho mes. El dato quinquenal de lluvias extremas de un departamento es el promedio de dicho indicador, para los meses comprendidos durante el respectivo quinquenio. En las regresiones municipales se utiliza el mismo indicador de lluvias extremas de las departamentales, pero en este caso no hay necesidad de calcular promedios departamentales.

Datos a nivel Municipal

Para las estimaciones de las ecuaciones municipales, los indicadores de desastres se construyeron de manera similar a los departamentales. Sin embargo, en las regresiones municipales las tasas de desastres corresponden al promedio municipal, durante el período 1980-2010. Estos datos provienen del sistema de inventario de desastres Desinventar.

El cálculo del PIB municipal se hace con base en la metodología de Sánchez y Núñez (2000), la cual utiliza como *proxy* del PIB municipal una distribución del PIB departamental, con base en los impuestos municipales prediales y de industria y comercio. Una medida alternativa del nivel de desarrollo municipal, es el Índice de Calidad de Vida (ICV) del DANE, construido a partir de la información censal. Aunque este indicador es más fiable que el PIB per cápita municipal, tiene el inconveniente de que no permite calcular el efecto de un cambio en el PIB sobre la tasa de desastres, el cual se va a requerir para calibrar los modelos de equilibrio general con desastres. Sin embargo, las ecuaciones 5 y 6 se reestiman, utilizando el ICV en lugar del PIB per cápita municipal, para verificar que las estimaciones de los coeficientes asociados a las demás variables sean robustas (anexo II).

Como indicador de la educación de la población municipal, se utiliza el índice de educación y capital humano total, tomado de la base de datos del Sistema de Información para la Gestión y el Ordenamiento Territorial (SIGOT). Este índice se construye con base en el censo nacional del DANE de 2005, y es el resultado de aplicar un factor de ponderación a los valores municipales de las siguientes variables: escolaridad máxima del jefe de hogar, escolaridad promedio de personas de 12 y más años, proporción de jóvenes de 12 a 18 años que asisten a secundaria/universidad y proporción de niños de 5 a 11 años que asisten a un establecimiento educativo.

Para medir la violencia municipal, se utiliza como *proxy* la tasa de homicidios, la cual se calcula como el promedio anual de homicidios comunes por cada 100.000 habitantes, ocurridos en cada municipio, en el año 2005. Los datos son tomados de la base de datos del SIGOT. Por su parte, para la construcción de la distancia de los municipios a los principales mercados, se utilizan datos sobre la distancia de cada municipio a Bogotá, Medellín, Barranquilla y Cali y luego se escoge, de entre las cuatro, la distancia más cercana.

El Índice de capacidad Administrativa (ICA), tomado del SIGOT, es construido por el DNP. Mide la calidad de la disposición de los recursos humanos, físicos y tecnológicos que dan soporte a los procesos y procedimientos que se cumplen al interior de la administración municipal. Este Índice va de 0 a 100, donde 100 indica el mayor grado de eficiencia y 0 el menor.

Por su parte, la proporción del área de los municipios con alto riesgo de inundación y el porcentaje de la población y las viviendas localizadas en esta área, se calcula mediante el cruce de las coberturas ambientales y la población municipal, suministradas por el DANE y el IDEAM. En primera instancia, se asigna a nivel geográfico la población censal a nivel de centros poblados, sección y manzanas (el censo de 2005 recoge la información de personas, hogares y viviendas a estos niveles). Luego se interceptan las coberturas ambientales de interés y la cobertura municipal detallada. Esto permite localizar los centros poblados, las secciones y las manzanas que están en riesgo de sufrir un desastre.

En la tabla 3 se puede observar que el 15,4% de la población nacional se encuentra localizada en zonas en riesgo por inundación y el 23% es riesgo por remoción en masa.

Tabla 3. Proporción de la población y las viviendas ubicada en zonas de riesgo (en %)

Zonas	En riesgo por inundación			En riesgo por remoción en masa		
	Área	Personas	Viviendas	Área	Personas	Viviendas
Urbana	20,2	15,2	14,4	22,5	18,0	19,3
Rural	19,5	16,0	14,8	16,2	37,6	39,9
Total	19,5	15,4	14,5	16,3	23,0	24,7

Fuente: Cálculos propios con base en datos del DANE

Por último, el indicador de lluvias extremas a nivel municipal se puede representar de la siguiente forma:

$$Lluv_{i,80-05} = \frac{\sum_{a=1980}^{2005} \{ \sum_{m=1}^{12} [\max(0, SPI_{i,m,a} - 2)] \}}{2005 - 1980 + 1} \quad (13)$$

Donde, al igual que se describió en los datos departamentales, $SPI_{i,m,a}$ corresponde al Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).

3.4. Resultados

Efectos de los desastres naturales sobre el PIB

En la tabla 4 se muestran los resultados de la estimación de la ecuación 9 por el método GMM-System, donde se utiliza como variable explicativa, el número de desastres per cápita (ND/población). Es decir:



$$D_{i,t} = Nd_{i,t} = \frac{ND_{i,t}}{población_{i,t}} \quad Da_{i,t-1} = Nda_{i,t-1} = \frac{\sum_{v=1970}^{t-1} ND_{i,t}}{(t-1-1970)/5} \quad (14)$$

En la regresión [1] de la tabla 4 se incluyen el promedio de desastres acumulados pasados y el del quinquenio. En este caso, sólo los coeficientes asociados al PIB per cápita rezagado y a la tasa bruta de matrícula son significativos. Estos resultados sugieren que la inclusión de la variable $ND_{i,t}$ bloquea la información que $Nda_{i,t-1}$ puede otorgar o viceversa. Es por esto que en las regresiones [2] y [3] se incluyen cada una de las variables de desastres por separado. En la regresión [2], sólo se utiliza como medida de los desastres, el promedio de desastres del respectivo quinquenio ($Nd_{i,t}$). En este caso, se puede observar que todos los coeficientes, a excepción de la densidad de la población, son significativos.

Por su parte, en la regresión [3] sólo se incluye el promedio de desastres acumulados desde 1970 hasta el quinquenio anterior ($Nda_{i,t-1}$). En este caso, se puede observar que todos los coeficientes, a excepción de la densidad de la población, son significativos al 10%, aunque no necesariamente al 5%. En la tabla 3 también se observa que los instrumentos utilizados cumplen con la condición de exogeneidad y que no existen problemas de auto-correlación en los errores en la regresión [3].

Tabla 4. Efecto de la tasa de incidencia de desastres naturales sobre el crecimiento económico (1980-2005).

Variables explicativas	Variable dependiente: Crecimiento del PIB per cápita		
	[1]	[2]	[3]
Producto per cápita rezagado (log)	-0,18*** (0,074)	-0,222*** (0,063)	-0,253*** (0,055)
1.000 * $Nda_{i,t-1}$	-0,932 (0,739)	–	-1,205* (0,032)
1.000 * $Nd_{i,t}$	-2,036 (1,369)	-3,585** (1,571)	–
Densidad de la población	-0,020 (0,019)	-0,033 (0,021)	-0,032 (0,026)
Tasa bruta de matrícula	0,38** (0,14)	0,471** (0,220)	0,620** (0,239)
Test de Arellano-Bond para AR(2) (p valor)	0,627	0,655	0,562
Test de Hansen. Ho: las variables endógenas rezagadas son exógenas (p valor)	0,339	0,282	0,912
Test de Hansen. Ho: las variables que se suponen exógenas son exógenas (p-valor)	0,553	0,294	0,565
Número de observaciones	150	150	150
Variables instrumentales	Las variables instrumentales fueron los segundos rezagos del logaritmo del PIB per cápita y de los desastres acumulados, las demás variables explicativas y las lluvias extremas promedio del quinquenio		

***Significativo al 1%, **significativo al 5% y * significativo al 10%.

Nota: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar. $Nda_{i,t}$ corresponde al promedio de desastres per cápita acumulados hasta t-1 y $Nd_{i,t}$ es el promedio de desastres per cápita del periodo t. Ambas medidas de los desastres se multiplicaron por 1.000 debido a que esta proporción es muy cercana a cero, en este caso se mediría como desastres por cada 1.000 habitantes.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se muestra el efecto de la proporción de muertos, desaparecidos, heridos y afectados (MHAF) en los desastres naturales ocurridos en el quinquenio y en los acumulados desde 1970, sobre el crecimiento económico. Este indicador es mejor que el número de desastres per cápita, utilizado en las anteriores regresiones, porque no sólo tiene en cuenta la incidencia de los desastres, sino la magnitud promedio de los mismos.

En este caso, se estima la ecuación 9 con las variables de desastres, medidas de la siguiente forma:

$$D_{i,t} = mhaf_{i,t} = \frac{MHAF_{i,t}}{población_{i,t}} \quad D_{i,t} = mhafa_{i,t} = \frac{\sum_{v=1970}^{t-1} \frac{MHAF_{i,t}}{población_t}}{(t - 1 - 1970)/5} \quad (15)$$

En la regresión [4], los coeficientes asociados a $mhaf_{i,t}$ y a $mhafa_{i,t}$, no son significativos. Por su parte, en las regresiones [5] y [6] en donde se regresa cada una de las variables de desastres por separado, los coeficientes asociados a los desastres actuales y acumulados son negativos y significativos al 5%. Los estadísticos para medir la exogeneidad de los instrumentos utilizados y el comportamiento adecuado de los errores de la regresión, no presentan problemas.

Tabla 5. Efecto de la tasa de muertos, desaparecidos, heridos y afectados por los desastres naturales sobre el crecimiento económico (1980-2005)

Variables explicativas	Variable dependiente: Crecimiento del PIB per cápita		
	[4]	[5]	[6]
Producto per cápita rezagado (log)	-0,21*** (0,061)	-0,22*** (0,053)	-0,225*** (0,066)
$mhafa_{i,t-1}$	-0,486 (0,327)	–	-0,768** (0,346)
$mhaf_{i,t}$	-0,566 (0,533)	-1,16** (0,0561)	–
Densidad de la población	-0,023 (0,017)	-0,011 (0,018)	-0,022 (0,015)
Tasa bruta de matrícula	0,332* (0,171)	0,344* (0,175)	0,410* (0,227)
Prueba de Arellano-Bond para AR(2) (p-valor)	0,621	0,705	0,484
Prueba de Hansen. Ho: las variables endógenas rezagadas son exógenas (p-valor)	0,886	0,963	0,844
Prueba de Hansen. Ho: las variables que se suponen exógenas son exógenas (p-valor)	0,669	0,495	0,869
Número de observaciones	150	150	150
Variables instrumentales	Las variables instrumentales fueron los segundos rezagos del logaritmo del PIB per cápita y de los desastres acumulados, las demás variables explicativas y las lluvias extremas promedio del quinquenio		

*** Significativo al 1%, ** significativo al 5% y *significativo al 10%.
 Nota: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar. $mhaf_{i,t}$ mide la proporción de muertos, heridos, afectados y damnificados (MHAF) en los desastres ocurridos en el periodo t y $mhafa_{i,t-1}$ mide la proporción de MHAF en los desastres acumulados desde 1970 hasta el periodo t-1.



Para dimensionar el efecto de los desastres sobre la economía, es conveniente calcular la elasticidad del crecimiento quinquenal con respecto a MHAF por los desastres naturales. Para esto, es suficiente con multiplicar el coeficiente de la regresión [5] de la tabla 5 correspondiente a la variable de desastres (-1,16), por el valor promedio de la tasa de la MHAF en el periodo 1980-2005 (0,025), dando como resultado una elasticidad quinquenal de -0,0255. Esto quiere decir que si la tasa de desastres se incrementará en un 1%, el crecimiento quinquenal caería en 0,0255%. La elasticidad de largo plazo del PIB per cápita con respecto a los desastres se calcula, dividiendo esta elasticidad de corto plazo, por el valor absoluto del coeficiente del PIB per cápita rezagado, en la regresión [3]. Es decir, $-0,0255/0,22 = -0,116$. Este resultado implica que un incremento permanente de la MHAF en un 20%, genera una caída en el PIB per cápita de largo plazo de 1,5% ($-0,116 * 20\%$).

Los anteriores ejercicios econométricos muestran que los desastres naturales climáticos en Colombia tienen un efecto negativo sobre el crecimiento de corto, mediano y largo plazo de la economía.

Determinantes de los desastres naturales

Una vez analizado el efecto de los desastres naturales sobre el crecimiento económico, se pasa a analizar sus determinantes. Con este fin se estima el sistema de ecuaciones 5 y 6, con datos de corte transversal para los municipios del país, mediante el método de MC2E. Los resultados de la estimación de la ecuación 5 se muestran en la tabla 6. En este caso se analizan los determinantes de la proporción de viviendas destruidas y afectadas (VIVAF), de los Muertos, Desaparecidos, Heridos y Afectados (MHAF) y del número promedio de desastres (ND).

En la primera regresión de la tabla 6, cuya variable dependiente es VIVAF, se puede observar que el coeficiente asociado al logaritmo del PIB per cápita es negativo y significativo. Con respecto a la proporción de viviendas en zonas susceptibles a inundación, el coeficiente es positivo y significativo. Por su parte, el exceso de lluvias extremas también incrementa, de manera significativa, la tasa de desastres. Además, las regresiones presentadas en el tabla 6 pasan todas las pruebas tendientes a evaluar la debilidad y exogeneidad de los instrumentos utilizados⁴.

Con el promedio nacional de viviendas destruidas y afectadas (0,3%), de las viviendas en zonas de riesgo (14,5%) y del indicador de lluvias extremas (38,9%), se pueden construir las elasticidades de la tasa de desastres (MHAF) con respecto a sus principales variables explicativas. Para la población en zona de riesgo, dicha elasticidad es igual a 0,15 y para el indicador de lluvias extremas a 0,026. Por lo tanto, si la población en zona de riesgo se redujera en un 20%, la tasa de desastres (VIVAF) caería en un 3% ($0,15 * 0,2$).

Cuando se miden los desastres en términos de los daños a la población (MHAF) o el número de desastres por cada 1.000 habitantes, los resultados son similares en términos

4 Las pruebas de Sargan muestran que se acepta la hipótesis de que los instrumentos son exógenos, mientras que el test de Stock y Yogo muestra que se rechaza, al 5% la hipótesis de que los instrumentos sean débiles.

de significancia y signo de los coeficientes. En efecto, se puede observar que mientras mayor sea el PIB per cápita de los municipios, menor es el número de desastres per cápita y la proporción de MHAF por los desastres naturales climáticos. Adicionalmente, mientras mayor sea la proporción de la población ubicada en zonas de alto riesgo de inundación y el exceso promedio de lluvias extremas (mayor vulnerabilidad de la población e intensidad de los fenómenos naturales) mayor es el número de desastres y la población afectada.

Por su parte, la elasticidad de la MHAF con respecto a la proporción de la población en zonas de desastre, se puede calcular mediante la multiplicación del promedio de personas situadas en zonas con riesgo de inundaciones y el coeficiente asociado a esta variable (0,038, tercera columna de la tabla 6). Esto da como resultado una elasticidad de 0,23, lo que implica que si la población localizada en zonas con alto riesgo de desastres, se redujera en un 20%, la MHAF caería en un 4,5% ($0,23 \times 0,2$).

Tabla 6. Determinantes de los desastres naturales, 1980 -2005

Variables explicativas	Mínimos cuadrados en 2 etapas (II etapa)		
	VIVAF	MHAF	1.000*ND
Producto per cápita (log)	-0,0008*** (0,0002)	-0,058*** (0,001)	-0,0057*** (0,0014)
Proporción de la población/viviendas en zonas susceptibles a inundación Pzr	0,003*** (0,0009)	0,038*** (0,0006)	0,009** (0,004)
Lluvias extremas	0,0002** (0,00009)	0,001** (0,0006)	0,0011** (0,0005)
Altitud	-0,0008** (0,0002)	-0,001 (0,001)	-0,0027** (0,001)
Índice de capacidad administrativa	-0,00002 (0,00001)	-0,00003 (0,00009)	-0,00007 (0,00007)
Prueba de Sargan: Ho: los instrumentos son exógenos	0,745	0,723	0,060
Prueba de Stock y Yogo. Ho: los instrumentos son débiles (p-valor). Probabilidad de rechazo es:	>0,05	>0,05	>0,05
Observaciones	1.005	1.005	1.005

*** Significativo al 1%, ** significativo al 5%, * significativo al 10%.
 Nota: MHAF hace referencia al promedio anual del porcentaje de muertos, heridos y afectados; VIVAF viviendas destruidas y afectadas, producto de los desastres climáticos acumulados desde 2004 hasta 2009; ND es el promedio de desastres acumulados per cápita entre 2004-2009. Se multiplica por 1.000 debido a que esta proporción es cercana a cero, en este caso se mediría como desastres por cada 1.000 habitantes. Error estándar en paréntesis. La primera etapa de las regresiones se muestra en el Anexo 1.

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, en la tabla 7 se muestran los resultados de la estimación por MC2E de la ecuación 6, donde la variable dependiente es el logaritmo del PIB per cápita. En ésta, se puede observar que los coeficientes asociados a los desastres (VIVAF, MHAF y 1.000*ND) son negativos y significativos. También se puede deducir que mientras mayor sea la tasa bruta de matrícula en escuela secundaria y menor sea la distancia a los principales mercados, mayor es el PIB per cápita de los municipios. Finalmente, las pruebas estadísticas confirman la validez de los instrumentos.

**Tabla 7.** Efecto de los desastres naturales sobre el PIB, 1980-2005

Variables explicativas	Mínimos cuadrados en 2 etapas (II etapa)		
	Log(PIBpc)	Log(PIBpc)	Log(PIBpc)
Viviendas destruidas y afectadas (VIVAF)	-46,25*** (17,03)		
Muertos, heridos y afectados (MHAF)		-6,513*** (0,044)	
1.000*ND			-15,24** (6,66)
Educación	0,199*** (0,012)	0,200*** (0,011)	0,191*** (0,015)
Distancia a los principales mercados (log)	-0,0009*** (0,0003)	-0,0009*** (0,0003)	-0,001*** (0,0003)
Longitud per cápita de los ríos primarios	0,005*** (0,0009)	0,005*** (0,0009)	0,005*** (0,0009)
Prueba de Sargan: Ho: los instrumentos son exógenos	0,076	0,115	0,06
Test de Stock y Yogo. Ho: los instrumentos son débiles (p-valor). Probabilidad de rechazo es:	>0,05	>0,05	>0,05
Observaciones	1.052	1.052	1.052

*** Significativo al 1%, ** significativo al 5%, * significativo al 10%.
Nota: MHAF hace referencia al promedio anual del porcentaje de muertos, heridos y afectados; VIVAF viviendas destruidas y afectadas, producto de los desastres climáticos acumulados desde 2004 hasta 2009; ND es el promedio de desastres acumulados per cápita entre 2004-2009. Se multiplica por 1.000 debido a que esta proporción es cercana a cero, en este caso se mediría como desastres por cada 1.000 habitantes. Error estándar en paréntesis.

Fuente: Elaboración propia

4

Modelo de Crecimiento con Gestión de Riesgo y Desastres Naturales.

A continuación se describe la metodología utilizada para estimar los costos económicos de los desastres naturales en Colombia, a partir de un Modelo de Equilibrio General Dinámico Estocástico (DSGE por sus siglas en inglés) con crecimiento endógeno y desastres naturales que afectan la acumulación de capital. A partir de este modelo, se simulan los flujos de ingresos y gastos de la economía colombiana en un periodo determinado, teniendo en cuenta las interrelaciones entre los distintos agentes económicos (hogares, firmas y Gobierno), su conducta optimizadora y la incertidumbre sobre el comportamiento futuro de algunas variables económicas, debido a los desastres naturales inesperados.

4.1. Modelo

El modelo de gestión de riesgo de desastres resulta de unir dos tipos de modelos comunes en la literatura. Los modelos de crecimiento a la Ramsey-Cass-Koopman (Barro y Sala-i-Martin, 2004), en los que el crecimiento económico está determinado por las decisiones de ahorro

e inversión de unos hogares y empresas y el modelo de crecimiento con desastres naturales de Ikefuji y Horii, R. (2012). En el presente modelo los hogares deciden cuánto consumir y cuánto ahorran, con base en la utilidad que le genera el consumo presente y futuro y con base en la tasa de interés esperada. Para esto maximizan su utilidad inter-temporal, sujetos a una restricción inter-temporal. Por otro lado, las empresas deciden cuánto producir y el monto de la inversión que les permite maximizar el valor presente de sus ganancias. Existen dos sectores productivos: el de servicios de arrendamiento y el de los otros bienes de consumo. El primero de ellos utiliza intensivamente el capital, en forma vivienda, mientras el segundo usa maquinaria y equipo.

En cada uno de los sectores se utiliza capital ubicado en zonas con y sin riesgo de ocurrencia de desastres naturales (en adelante "riesgoso" y "no riesgoso" se utiliza para hacer referencia a la ubicación en zonas con y sin riesgo de ocurrencia de desastres naturales respectivamente). En el caso del sector de servicios de arrendamientos, se decide cuántas casas ubicar en zonas riesgosas y no riesgosas, en función de los costos de las viviendas en dichas zonas y las diferencias en las tasas de desastres entre las mismas. Cuando sube la tasa de desastres, una parte de la demanda del acervo de viviendas se desplaza hacia las zonas no riesgosas, a través de la migración. Con la maquinaria sucede algo similar. Las empresas tienen en cuenta la posibilidad de pérdidas por desastres, al momento de situar su maquinaria en zonas riesgosas. Las decisiones de inversión son tomadas por las empresas, con el fin de maximizar el valor presente de sus ingresos, la tasa de depreciación y la tasa de destrucción de capital por desastres naturales, teniendo en cuenta que la acumulación de capital está determinada por la inversión.

A continuación se describe los problemas de optimización de cada uno de los agentes económicos.

Hogares

Los hogares maximizan su función de utilidad intertemporal que depende del consumo de servicios de arrendamiento de vivienda y del consumo de los demás bienes de la forma:

$$U_t = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1 + \rho)^t} \ln(C_t) N_t \quad (16)$$

Donde C_t es el consumo per cápita en el hogar, ρ es la tasa de impaciencia y N_t es el número de personas dentro del hogar. El nivel de consumo per cápita de los hogares es un bien compuesto de servicios de vivienda, la cual se denota como Z_t y de bienes de consumo C_t y se representa mediante una función tipo Cobb-Douglas:

$$C_t = (C_t - \theta_c)^\beta (Z_t - \theta_z)^{1-\beta} \quad (17)$$



En donde θ_c y θ_z son los consumos mínimos de subsistencia de bienes de consumo y de servicios de arrendamiento, respectivamente.

Es importante resaltar que con respecto al consumo de servicios de arrendamiento, en la vida real, muchas familias poseen una única vivienda y su decisión fundamental no es cuánto consumir de cada tipo de vivienda, sino en qué lugar se ubica su vivienda. Este tipo de decisiones han sido modeladas por la teoría de elección discreta. Según esta teoría, cada uno de los agentes escoge entre comprar un bien o el otro. En este caso, los agentes escogerían entre consumir viviendas ubicadas en zonas de riesgo no riesgo de ocurrencia de desastres naturales.

Para este modelo, se supone información perfecta y un mercado financiero perfecto. Al relajar estos supuestos, es posible que los agentes terminen escogiendo sus viviendas en zonas riesgosas, a pesar de que le sería más racional escoger una vivienda en zonas no riesgosas, debido a problemas de información asimétrica o por dificultades de acceder al mercado inmobiliario formal. Este último fenómeno puede estar relacionado con los problemas de liquidez al que se ve abocado la población más pobre de la sociedad.

Los hogares maximizan su función de utilidad (ecuación 16) sujetos a la siguiente restricción presupuestal:

$$\chi_a \chi_n B_{t+1} - B_t = (1 - \tau_t)(i_t B_t + w_t N_t) + \Pi_t - C_t - \bar{a}_t Z_t \quad (18)$$

en donde B_t son los activos del hogar en el periodo, τ_t es la tasa de impuesto a los ingresos de los activos y del trabajo, i_t es la tasa de interés, Π_t son las utilidades netas de impuestos de las empresas que poseen los hogares, a_t es el precio de los servicios de arrendamiento y w_t es el salario. Esta ecuación también se puede interpretar como la función de ahorro de los hogares.

Empresas

Por otro lado, las empresas deciden cuánto producir y cuál es el monto de la inversión que les permite maximizar el valor presente de sus ganancias. En esta economía, existen dos sectores productivos: el de servicios de arrendamiento y el de los otros bienes de consumo. El primero de ellos utiliza intensivamente el capital, en forma de vivienda, mientras el segundo usa maquinaria y equipo.

En cada uno de los sectores se utiliza capital ubicado en zonas riesgosas y no riesgosas. En el caso del sector de servicios de arrendamientos, se decide cuántas casas ubicar en zonas riesgosas y no riesgosas, en función de los costos de las viviendas en dichas zonas y las diferencias en las tasas de desastres entre las mismas. Cuando sube la tasa de desastres una parte de la demanda del stock de viviendas se desplaza hacia las zonas no riesgosas, a través de

la migración. Con las maquinarias sucede algo similar. Las empresas tienen en cuenta la posibilidad de pérdidas por desastres al momento de situar su maquinaria en zonas riesgosas. Las decisiones de inversión son tomadas por las empresas con el fin de maximizar el valor presente de sus ingresos y teniendo en cuenta que la acumulación de capital está determinada por la inversión, la tasa de depreciación y la tasa de destrucción de capital por desastres naturales.

El arbitraje entre escoger un capital que minimice los costos de las empresas, pero que no genere un grado muy alto de vulnerabilidad, se modela a través de una función de producción que depende del acervo de capital agregado y este último depende de la proporción de capital riesgoso y no riesgoso y del trabajo.

Empresas productoras de bienes de consumo

La función de producción de bienes de consumo puede escribirse de la siguiente manera:

$$Y_t^c = \Gamma(\mathbb{k}_t)^{\alpha_c} (A_t L_{c,t})^{1-\alpha_c} \quad (19)$$

donde Y_t^c es la producción total de bienes de consumo diferentes a vivienda, \mathbb{k}_t es el acervo de capital (maquinaria), A_t el nivel de desarrollo tecnológico del país y $L_{c,t}$ es el número de trabajadores en este sector. El parámetro Γ capta la escala en que se mide el modelo y los factores diferentes a la tecnología que afectan a la productividad de las empresas.

Adicionalmente, en este sector el acervo de capital es una función CES de la maquinaria ubicada en zona de riesgo y no riesgo:

$$\mathbb{k}_t = \left[\sum_j (\varphi_j)^{\frac{1}{\sigma_k}} (M_{j,t})^{1-\frac{1}{\sigma_k}} \right]^{\frac{\sigma_k}{1-\sigma_k}}, \quad j = \{r, n\} \quad (20)$$

En subíndice j hace referencia al tipo de capital, donde r es riesgoso y n no riesgoso. Por su parte, el parámetro σ_k representa la elasticidad de sustitución entre capital riesgoso y no riesgoso, y muestra qué tan sensible son las empresas a los cambios en los costos de uso de estos dos tipos de capital. En este caso la diferencia entre los dos tipos de capital, $M_{r,t}$ y $M_{n,t}$, es su grado de vulnerabilidad a los desastres naturales.

En una primera etapa, las empresas productoras de bienes de consumo deciden el nivel de producción, la cantidad de capital y el nivel de empleo que maximiza las ganancias de las empresas, representadas por la siguiente ecuación:

$$\max \Gamma(\mathbb{k}_t)^{\alpha_c} (A_t L_{c,t})^{1-\alpha_c} - w_t l_{c,t} - R_t \mathbb{k}_t \quad (21)$$



en donde R_t es el costo de uso de la maquinaria. Una vez obtenido el nivel de capital óptimo, las empresas escogen las cantidades de cada uno de los tipos de capital, riesgoso y no riesgoso, que les resuelva el siguiente problema de minimización de costos:

$$\min R_t k_t = R_{n,t} M_{n,t} + R_{r,t} M_{r,t} \quad (22)$$

en donde $R_{n,t}$ y $R_{r,t}$ corresponden al costo de uso de la maquinaria no riesgosa y riesgosa, respectivamente.

Empresas productoras de servicios de arrendamiento de vivienda

En la producción del sector de servicios de arrendamiento de vivienda se utilizan como insumos el acervo de vivienda \mathbb{H}_t y el trabajo $l_{v,t}$. La función de producción se representa de la forma:

$$Y_t^v = Y(\mathbb{H}_t)^{\alpha_v} (A_t L_{z,t})^{1-\alpha_v} \quad (23)$$

en donde, Y_t^v es la producción total de servicios de arrendamiento y Y es el factor de escala de la función de producción.

En este sector, existen dos tipos de vivienda, las se encuentran localizadas en zonas con riesgo de ocurrencia de desastres naturales $H_{r,t}$ y las se encuentran localizadas en zonas de no riesgo $H_{n,t}$. En este caso, la agregación del acervo de vivienda se puede representar como:

$$\mathbb{H}_t = \left[\sum_j (\Phi_j)^{\frac{1}{\sigma_v}} (H_{j,t})^{1-\frac{1}{\sigma_v}} \right]^{\frac{\sigma_v}{1-\sigma_v}}, \quad j = \{r, n\} \quad (24)$$

El parámetro σ_v representa la elasticidad de la demanda de cada tipo de vivienda con respecto al costo de uso de dicho tipo de capital $\mathcal{R}_{j,t}$.

Las empresas escogen su demanda de vivienda y trabajo mediante el siguiente programa de maximización de beneficios:

$$\max Y(\mathbb{H}_t)^{\alpha_v} (A_t L_{z,t})^{1-\alpha_v} - w_t l_{v,t} - \mathcal{R}_t \mathbb{H}_t \quad (25)$$

Una vez obtenido el nivel de acervo de vivienda óptimo, las empresas productoras de servicios de arrendamiento escogen las cantidades de cada uno de los tipos de vivienda, riesgosa o no riesgosa, que les resuelva el siguiente problema de minimización de costos:

$$\begin{aligned}
 \min \mathcal{R}_t \mathbb{H}_t &= \mathcal{R}_{n,t} H_{n,t} + \mathcal{R}_{r,t} H_{r,t} \\
 \text{s. a. } \mathbb{H}_t &= \left[\sum_j (\Phi_j)^{\frac{1}{\sigma_v}} (H_{j,t})^{1-\frac{1}{\sigma_v}} \right]^{\frac{\sigma_v}{1-\sigma_v}}, \quad j = \{r, n\} \quad (26) \\
 \Phi_r + \Phi_n &= 1
 \end{aligned}$$

en donde $\mathcal{R}_{n,t}$ y $\mathcal{R}_{r,t}$ corresponden al costo de uso de la vivienda no riesgosa y riesgosa, respectivamente.

Empresas productoras de capital

Las empresas u hogares que ofrecen el capital, invierten I_t para incrementar su acervo de capital, K_t , el cual arriendan a las empresas productoras de bienes finales a un precio R_t , o las empresas productoras de servicios de arrendamiento a un precio \mathcal{R}_t . En este sector, los agentes encargados de realizar las decisiones de inversión maximizan el valor presente de las ganancias generadas por dicha inversión. Esto lo logran mediante el siguiente programa de maximización:

$$\max \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[(1 - \tau_t) \left(\sum_j R_{j,t} M_{j,t} + \sum_j \mathcal{R}_{j,t} H_{j,t} \right) - I_t \right], \quad j = \{r, n\} \quad (27)$$

$$\text{s. a. } K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + I_t - \hat{\psi}_{r,t} K_{r,t} - \hat{\psi}_{n,t} K_{n,t} \quad (28)$$

En el problema anterior se muestra que el *stock* de capital en el próximo periodo K_{t+1} , es igual a *stock* de capital actual K_t , menos su depreciación δ , más la inversión realizada en el periodo actual I_t , menos la proporción de capital ubicado en las zonas riesgosas que se destruye ($\hat{\psi}_{r,t} K_{r,t}$), menos el porcentaje del ubicado en zonas de no riesgoso que se destruye ($\hat{\psi}_{n,t} K_{n,t}$). En el modelo se tiene en cuenta que la proporción del capital destruido, depende de su ubicación en zonas de alto riesgo de desastres naturales o en zonas libres de riesgo. El capital ubicado en zonas de alto riesgo de desastres naturales, tiene una mayor probabilidad de ser destruido ($\hat{\psi}_{rt} > \hat{\psi}_{nrt}$).

La proporción del capital destruido ($\hat{\psi}_{jt} = \Psi_j \psi_t$) depende de dos factores, uno asociado a la ubicación (zonas de riesgo o no riesgo, Ψ_j) y otro a factores económicos y de intensidad de los fenómenos naturales (ψ_t). En el modelo, esta última se representa de la siguiente forma:

$$\psi_t = c_0 + c_1 y_{t-1} + c_2 Q_t^* + c_3 Gr_{t-1} + \epsilon_t \quad (29)$$



De acuerdo a esta ecuación, la probabilidad de ocurrencia de un desastre natural depende negativamente del logaritmo de la producción per cápita rezagada y_{t-1} y de la inversión per cápita del Gobierno en gestión de riesgo Gr_{t-1} del periodo anterior; pero depende positivamente de la intensidad de las lluvias Q_t^* que ocurren en el mismo periodo. Adicionalmente, existe un factor de incertidumbre (ϵ_t) sobre el verdadero valor de ψ_t . Los parámetros de la ecuación 29 asociados al logaritmo del PIB per cápita, a las lluvias extremas y al logaritmo de la inversión per cápita en gestión de riesgo fueron obtenidos de las regresiones municipales.

En equilibrio, la tasa de retorno de capital neta de gastos de depreciación y destrucción de capital por los desastres naturales, se iguala entre los dos sectores productivos y los dos tipos de capital

$$R_r - \delta - \hat{\psi}_{rt} = R_n - \delta - \hat{\psi}_n = i \quad (30)$$

en donde R_r es el costo de uso del capital riesgoso y R_n el del no riesgoso. En este modelo, los desastres naturales afectan a la economía mediante la destrucción de su capacidad productiva. A su vez, un mayor crecimiento económico disminuye la probabilidad de ocurrencia de desastres naturales.

Gobierno

El gasto del Gobierno G_t , se financia con un impuesto al ingreso neto de los agentes, de modo que:

$$G_t = \tau_t Y_t, \quad (31)$$

en donde $Y_t = Y_t^c + Y_t^p$. Adicionalmente, se supone que parte de este gasto se destina a la inversión en gestión de riesgo, Gr_t en una proporción κ , es decir:

$$Gr_t = \kappa G_t. \quad (32)$$

4.2. Calibración de los parámetros del modelo

El Modelo DSGE con Gestión de Riesgo de desastres naturales debe poder replicar la estructura general de la economía colombiana, por lo menos en el promedio de largo plazo. Una parte importante de los parámetros del modelo se ajustan para garantizar que sea una representación aproximada de la economía colombiana. Para la calibración, se supone que la economía se encuentra en su equilibrio de largo plazo, en el que todas las variables, medidas en término per cápita, crecen a la tasa de crecimiento exógena de la productividad, adicionalmente se encuentran los parámetros que son compatibles con los

valores actuales de las principales variables macroeconómicas y de desastres naturales. En la tabla 8 se presenta la información socioeconómica de país que se busca replicar con el modelo.

Tabla 8. Datos de la economía colombiana utilizados en la calibración

Variable	Dato	Medida	Año	Fuente
PIB sin normalizar	304,23	Billones de pesos	2005	DANE
Población	42.888.592	Personas	2005	DANE
Inversión/PIB	22,608%	Proporción del PIB	2005	DANE
arrendamientos/PIB	10,04%	Proporción del PIB	2005	DANE
(Gasto del Gobierno)/PIB	13,94%	Proporción del PIB	2005	DANE
Lluvias extremas	38,9%	Promedio	1980-2011	IDEAM
Proporción de muertos y afectados en desastres	0,29%	Proporción de la población	1980-2011	Desinventar
Participación de viviendas en Pérdidas totales	43,7%	Proporción de pérdidas	2012	CEPAL
(Pérdidas por desastres)/PIB	0,75%	Proporción del PIB	1970-2010	MHCP
(Personas zona de riesgo)/Pob	15,4%	Proporción de la población	2005	Cálculos propios
(Viviendas zona de riesgo)/Viv	14,5%	Proporción de viviendas	2005	Cálculos propios
Depreciación vivienda	2%	Tasa anual	1990-2001	Tribin (2006)
Depreciación maquinaria	5%	Tasa anual	1990-2001	Tribin (2006)
Crecimiento de la población	2%	Tasa anual	Promedio histórico	DANE
Crecimiento de la productividad	1,2%	Tasa anual	Promedio histórico	DANE

Fuente: Elaboración propia

Adicional a los datos presentados en la tabla 8, se supone que las pérdidas totales por desastres naturales representan el 1,1% del PIB en Colombia, la cual se obtiene a partir del documento del Banco Mundial (2012) sobre gestión del riesgo en Colombia. Para calcular qué proporción de estas pérdidas corresponden a las viviendas, se utiliza el estudio sobre la "Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia," del informe CEPAL (2012), donde se encuentra que el 43,7% de las pérdidas por desastres climatológicos están ligadas a las pérdidas de vivienda (Hábitat).

Con base en los mapas de zonas de riesgo de inundaciones y la información georreferenciada del censo de población del DANE, se encuentra que el 14,5% de las viviendas y el 15,4% de las personas se encuentran en zonas de riesgo. Se asume que la distribución de la maquinaria entre zonas riesgosas y no riesgosas es similar a la de las viviendas. Con base en esta información se deduce que la tasa de destrucción de viviendas por desastres climatológicos es igual a 0,6% y la de maquinaria a 0,25%.



Para la calibración del modelo, es decir para encontrar los parámetros del modelo que se ajusten a la realidad de la economía colombiana, se utiliza la información oficial sobre las pérdidas generadas por desastres naturales asociados al clima, al igual que los valores de los coeficientes obtenidos a partir de las regresiones departamentales y municipales. De este modo, los coeficientes de la ecuación 29 se obtienen a partir de las regresiones que se muestran en la tabla 6, específicamente, los coeficientes de la primera regresión donde la tasa de viviendas destruidas y afectadas es la variable dependiente.

El resto de los parámetros del modelo se obtienen a partir de la solución del sistema de ecuaciones del modelo en estado estacionario. En la Tabla 9 se muestran los valores de los parámetros obtenidos.

Tabla 9. Parámetros calibrados para el modelo DSGE con gestión de riesgo

Parámetros calibrados	Valor
Tasa de impaciencia (ρ)	0,043
Tasa de crecimiento de la población (χ_n)	0,012
Tasa de crecimiento tecnológico (χ_a)	0,012
Participación del capital en el producción de bienes de consumo (α_c)	0,343
Participación de las viviendas en el producción de servicios de arrendamiento (α_v)	0,618
Elasticidad de sustitución entre capital riesgoso y no riesgoso (σ_k)	-1,1
Elasticidad de sustitución entre vivienda riesgosa y no riesgosa (σ_v)	-1,1
Factor de descuento (β)	0,82
Tasa de depreciación total (δ)	0,04
Constante de la ecuación 29 (c_0)	0,003
Coefficiente asociado a y_{t-1} en la ecuación 29 (c_1)	-0,0008
Coefficiente asociado a Q_t^* en la ecuación 29 (c_2)	0,0002
Coefficiente asociado a Gr_{t-1} en la ecuación 29 (c_3)	-0,003
Factor de escala en la función de producción de bienes (Γ)	0,95
Factor de escala en la función de producción de servicios de arrendamiento (Υ)	2,47

Fuente: Elaboración propia

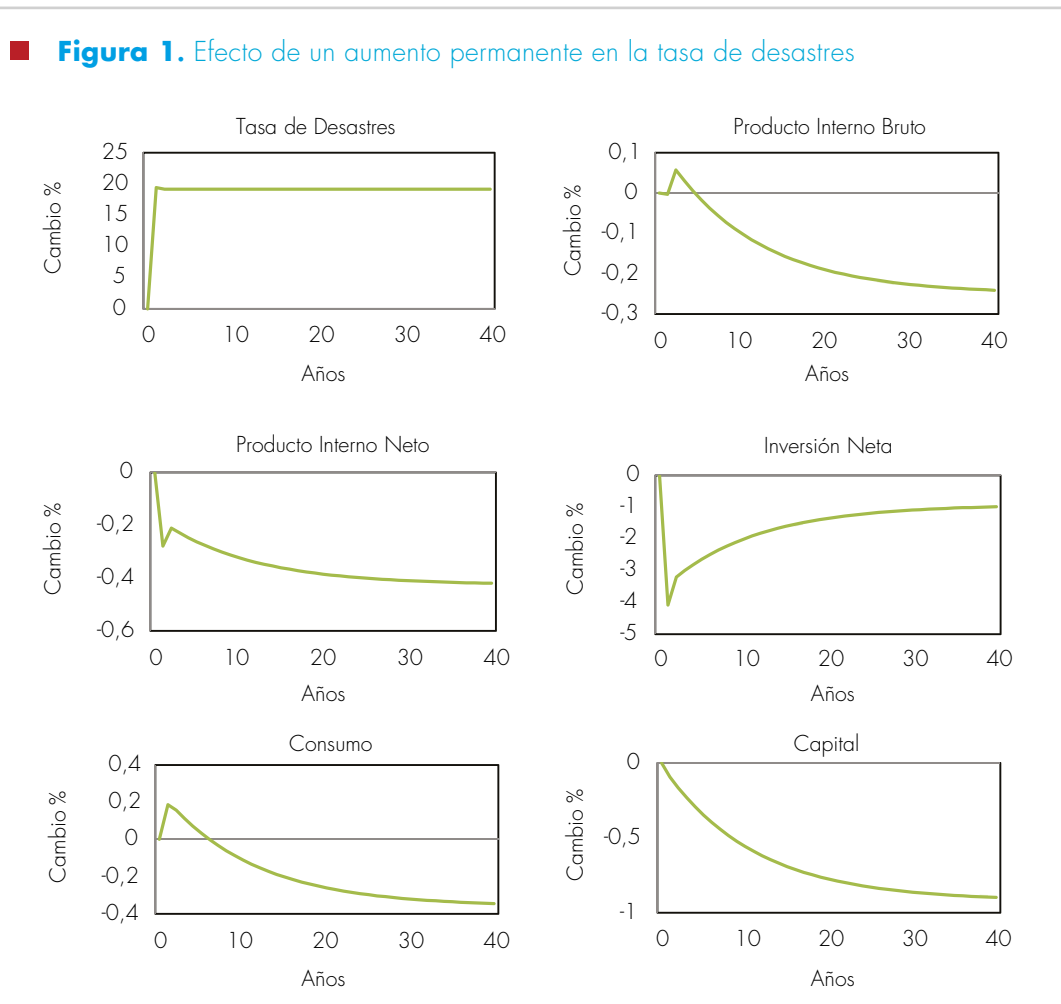
4.3. Simulaciones

Con el modelo de gestión de riesgo anteriormente descrito se realizan tres tipos de simulaciones. En primer lugar, se analiza el efecto de un cambio permanente en la tasa de desastres. En segundo lugar, se simula el efecto de un cambio en la producción de viviendas y maquinaria situadas en zonas de riesgo. Finalmente, se cuantifica el efecto de un incremento del gasto público en gestión de riesgo.

Efecto de un aumento permanente en la tasa de desastres

En la figura 1 se muestra el efecto de un aumento permanente en la tasa de desastres de un 20% (de 0,35% a 0,42%). Este cambio es equivalente a un aumento permanente⁵ en la ecuación 9. En la figura 1 y en las demás de la presente sección, el eje horizontal representa los años transcurridos después del choque inicial y el eje vertical el cambio porcentual de la variable con respecto al escenario base. En este caso se usa la tasa de desastres histórica (0,7%).

Dicho gráfico muestra que un aumento en la tasa de desastres del 20% disminuye el PIB de forma permanente, alrededor del 0,25% y el producto interno neto y pérdidas por desastres alrededor de 0,42%. Sin embargo, esta caída no es inmediata. Incluso en los primeros periodos podría aumentar el PIB debido a los gastos de reconstrucción (inversión bruta en reconstrucción). Debido a que este choque afecta directamente el capital, en la figura 1 se puede ver que éste se reduce en un 1%.



Fuente: Elaboración propia

5 Este incremento corresponde a dos veces la desviación estándar del indicador de lluvias extremas en Colombia.



El aumento en la tasa de desastres desincentiva la inversión en acumulación de capital (inversión neta), haciéndola reducir en un 4% en los primeros periodos y alrededor de un 1% en el largo plazo. Por último, el consumo, que mide indirectamente el bienestar de la población, también se reduce en 0,36% en el largo plazo como producto de la disminución en los ingresos. En los primeros periodos, se incrementa el consumo debido a la caída en la tasa de inversión neta, producto de los desincentivos a la inversión creados por las pérdidas en la rentabilidad del capital, generadas por los desastres naturales.

Aunque estas caídas en el Producto Interno Bruto pueden parecer pequeñas, son totalmente compatibles con el hecho de que las pérdidas por desastres climatológicos en Colombia tan sólo representan un 1% del PIB y el *stock* de capital es 3 veces más grande que el PIB, en el equilibrio. Es decir, un cambio de un 20% en la tasa de desastres, pasando de 0,35% a 0,42%, representa una variación pequeña del *stock* de capital de la economía.

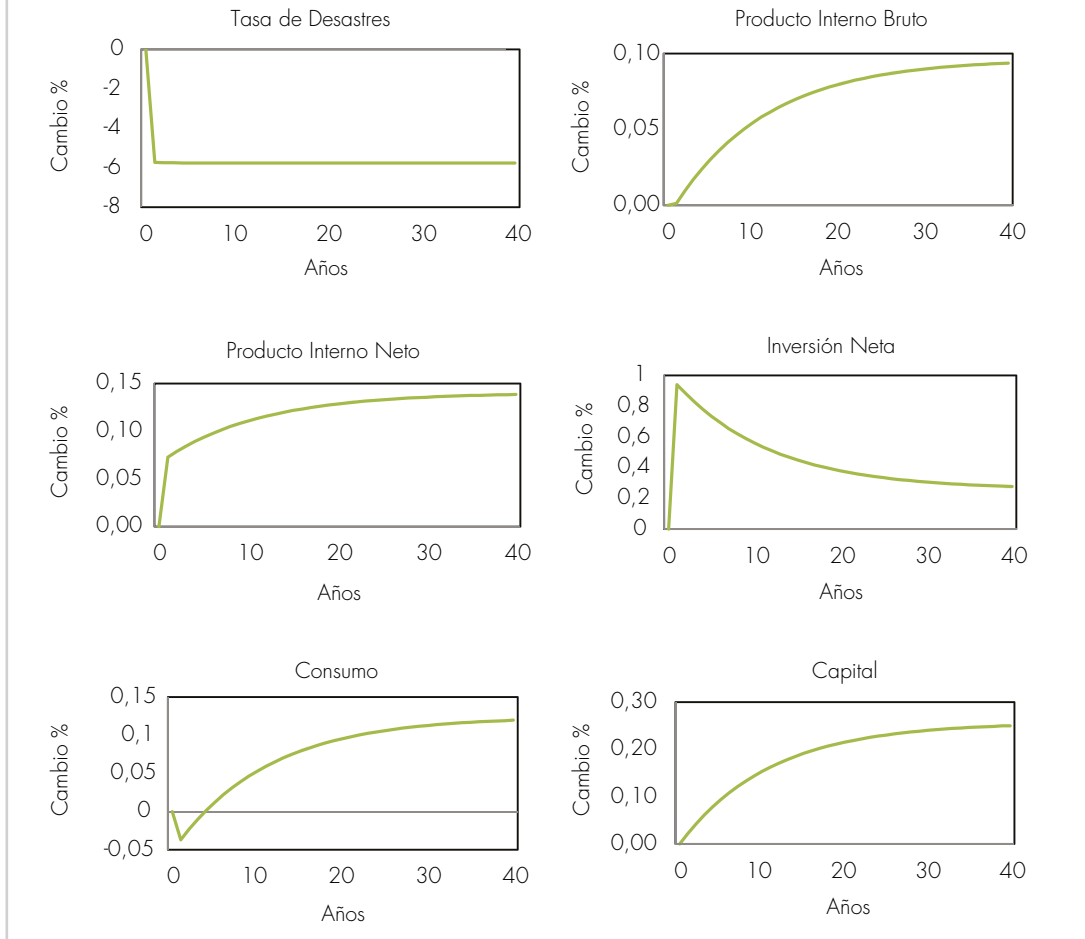
Efecto de una disminución en la proporción de la maquinaria y las viviendas ubicadas en zonas de riesgo

Uno de los principales determinantes de la magnitud de un desastre natural es la cantidad de capital físico y humano expuesto a los eventos naturales extremos. En épocas de invierno, son las personas ubicadas cerca las laderas de los ríos y las ubicadas en zonas con alto riesgo de remoción en masa las que se ven más afectadas en las olas invernales extremas. En efecto, mientras mayor sea la población y el capital localizado en zonas de alto riesgo, mayores serán las pérdidas ocasionadas en los desastres naturales y, por lo tanto, el impacto sobre el PIB y las demás variables de la economía será mayor. En este sentido, las políticas dirigidas a reducir la vulnerabilidad de la población y el capital físico a los desastres naturales mitigan el impacto negativo que tienen los eventos climáticos extremos ocasionados por el calentamiento global.

El efecto de una reducción de la proporción de la maquinaria y las viviendas localizadas en zonas de riesgo se muestra en la figura 2. En ésta, se puede observar que una disminución del 45% en la proporción de las viviendas y la maquinaria ubicadas en zonas de riesgo (pasa de 14,5% a 8%), disminuye la tasa de desastres en un 6% y aumenta el PIB en un 0,1%. Por su parte, el PIN aumenta en 0,14% y el consumo en un 0,12%. Gran parte de este mayor crecimiento se debe a la mayor acumulación de capital, generada por la reducción en el capital destruido en los desastres naturales. Además, se incrementa el retorno a la inversión porque disminuye el riesgo de pérdidas de capital por desastres naturales. Esto se ve reflejado en el aumento de la inversión neta y el capital alrededor del 1% y 0,25%, respectivamente.

Este ejercicio de simulación permite evidenciar que las políticas y estrategias dirigidas a la reducción del capital físico y humano localizado en las zonas de alto riesgo de desastre, reducen la tasa de desastres de forma significativa, lo que tiene un impacto positivo sobre la dinámica de la economía y el bienestar de la población.

■ **Figura 2.** Efecto de una reducción del 45% de la proporción de viviendas y maquinarias ubicadas en zonas de riesgo.



Fuente: Elaboración propia

Efecto de un aumento en la proporción del gasto destinado a la gestión de riesgo de desastres naturales.

Las políticas y mecanismos de prevención y mitigación de desastres pueden llevar a una disminución considerable en el impacto de un fenómeno natural extremo. Los Gobiernos deben implementar estrategias de manejo de riesgo que mitiguen y prevengan el efecto de los desastres naturales, con el fin de reducir los efectos adversos sobre la economía y el bienestar de la población.

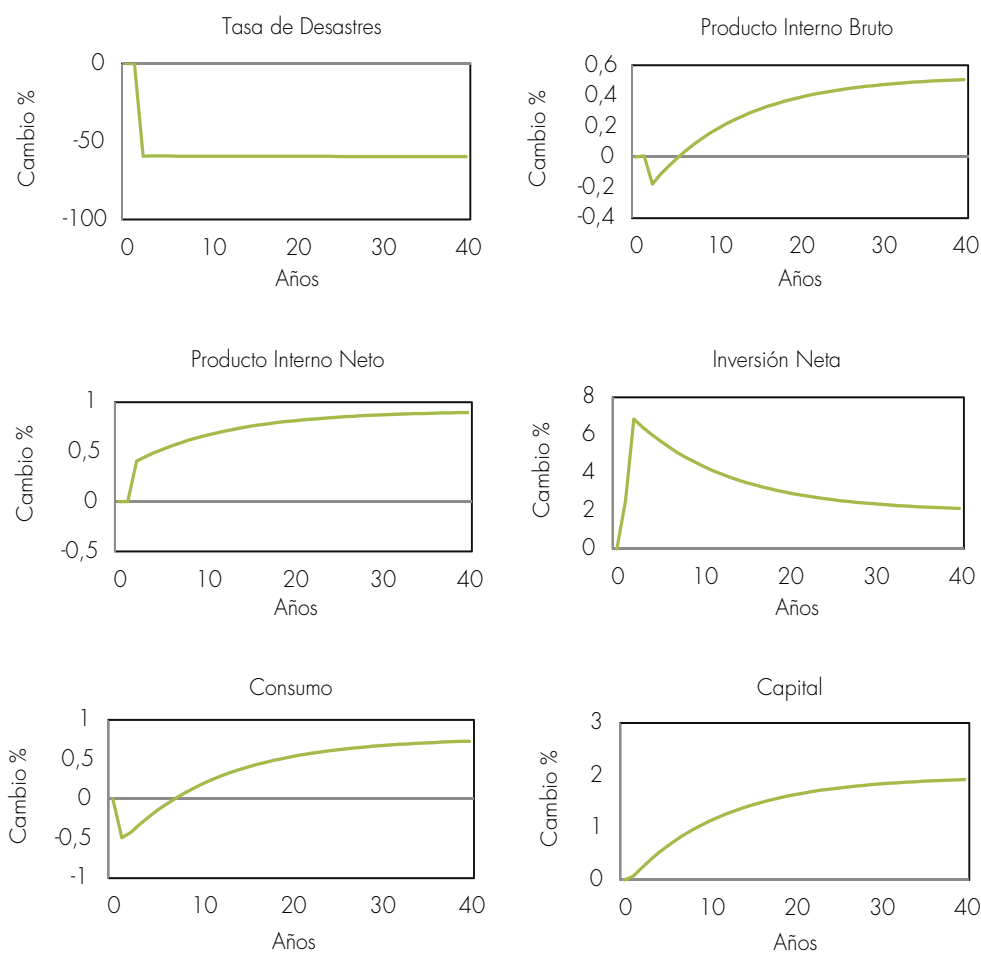
En un país como Colombia, que periódicamente se ve afectado por desastres asociados al clima, las medidas estructurales de mitigación de desastres deben comprender obras de ingeniería orientadas a la prevención de los fenómenos de remoción en masa (remoción, infiltración, contención, protección de la superficie, etc.), el control de la erosión (reforestación, regulación del flujo hídrico, infiltración, etc.), la prevención y control de inundaciones



(ampliación de causas, diques, muros de retención, canalización, etc.), el control de las avenidas torrenciales (diques, reforestación y protección de las cuencas, etc.). Todo esto con el fin de reducir la población y el capital en zonas de alto riesgo.

Para el desarrollo de proyectos de mitigación y prevención de desastres es necesario que el Gobierno destine los recursos suficientes para su implementación. En la figura 3 se muestra el efecto de un aumento considerable en la proporción del gasto público destinado a la inversión en gestión de riesgo. Se supondrá que la inversión en gestión del riesgo pasa de representar el 0,35% del gasto gubernamental, al 1%. En este gráfico se puede observar que éste aumento en la inversión en gestión de riesgo reduce la tasa de desastres en un 60%. Por su parte, el PIB aumenta en 0,53% y el PIN en 0,9%. Al igual que en el caso anterior, la reducción en la tasa de desastres incentiva la acumulación de capital, en este caso, una reducción en la tasa de desastres en un 60% aumenta la inversión neta en el corto plazo en un 6% y en el largo alrededor del 2%.

■ **Figura 3.** Efecto de un aumento en la proporción del gasto destinado a la gestión del riesgo de desastres naturales al 1% del PIB.



Fuente: Elaboración propia

5

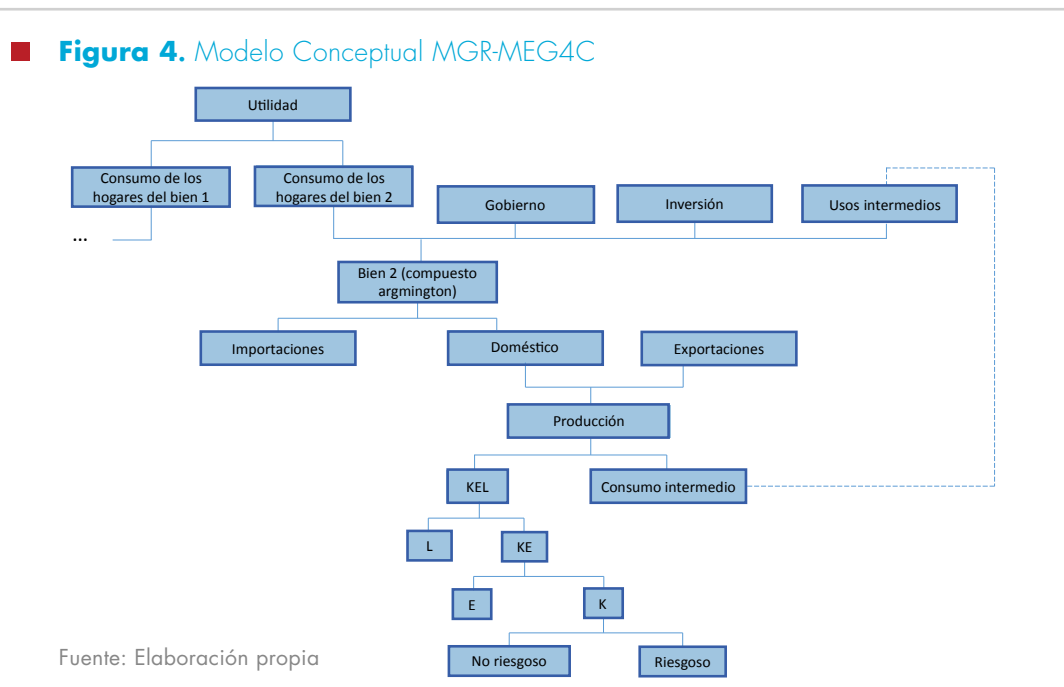
Gestión del Riesgo y Desastres en el Modelo de Equilibrio General Computable

El modelo de gestión de riesgo de desastres descrito anteriormente ha sido incorporado al de equilibrio general del DNP (MEG4C) con el fin de hacer un análisis sectorial de los efectos de los desastres naturales⁶. Como resultado de dicha incorporación se obtiene el MEGDES.

5.1. Descripción del modelo

Demanda agregada

En la figura 4 se describe la economía de acuerdo al modelo MEGDES. La demanda por cada uno de los bienes está generada por las exportaciones, el consumo de los hogares, el gasto público, la inversión y el consumo intermedio. Los agentes domésticos tienen una función CES de tipo Armington, para distribuir dicha demanda entre importaciones y demanda doméstica. La producción cubre la demanda total de todos los agentes. Dicha producción utiliza dos insumos: consumo intermedio y un bien compuesto (KEL), de acuerdo a una función de producción anidada, en la que estos insumos están descritos por una función de Leontief. El consumo intermedio se descompone a través de una función de tipo Leontief y el bien compuesto KEL se divide entre empleo L y el bien compuesto KE, de acuerdo a una



⁶ Para mayor información sobre el modelo MEG4C ver "Análisis de los Impactos Económicos del Cambio Climático para Colombia utilizando un Modelo de Equilibrio General Computable" (DNP, 2012).



función de tipo CES. A su vez el bien KE se puede descomponer entre Energía (E) y capital (K). El punto más pertinente para la presente investigación es la última etapa, en dicha pirámide, la cual supone una función CES que descompone el capital entre el ubicado en zonas de riesgo (***) y el que no lo está (***)).

En esta economía, el consumo de los hogares resulta de la maximización de la función de utilidad de la forma:

$$U_h = (1 - \gamma) \ln(C_h^{hhp}) + \gamma \ln(S_h^{hhp}) \quad (33)$$

Donde C_h^{hhp} es una función Cobb-Douglas agregadora del consumo de los bienes de los diferentes sectores, S_h^{hhp} es el ahorro de los hogares y γ es la propensión marginal a ahorrar de los hogares.

La maximización de la ecuación 33 está sujeta a la restricción presupuestaria de los hogares, descrita de la forma:

$$Y_h^d = S_h^{hhp} + \sum_i P_{i,h}^c C_{i,h} \quad (34)$$

Donde Y_h^d es el ingreso disponible de los hogares, el subíndice i representa cada sector de la economía, $P_{i,h}^c$ es el precio de los bienes de consumo en cada sector y $C_{i,h}$ es el nivel de consumo de los hogares del bien producido en el sector i .

Por su parte, la inversión agregada se ajusta al ahorro y se asume que la tasa de retorno del capital neto y pérdidas de desastres se iguala entre todos los sectores y tipos de capital. La ecuación 30, descrita en el modelo de gestión de riesgo, también se aplica al modelo de equilibrio general computable (MEGDES).

De otro lado, el Gobierno obtiene sus ingresos de los agentes internos y externos de la economía y genera una serie de gastos en gestión de riesgo y demás gastos que son financiados con dichos impuestos. Esto implica un gasto del Gobierno proporcional al PIB.

Tasa de destrucción del capital y desastres naturales

Al igual que en modelo anterior, en esta economía existen cuatro tipos de bienes de capital: la maquinaria riesgosa, la maquinaria no riesgosa, la vivienda riesgosa y la vivienda no riesgosa. La diferencia entre el capital riesgoso y no riesgoso es su grado de vulnerabilidad a los desastres naturales. Esta clasificación permite considerar en el modelo decisiones endógenas de los agentes tendientes a reducir la vulnerabilidad de sus activos. En una economía en la que son muy frecuentes los desastres los agentes tienden a vivir en casas más sólidas y en lugares con menos riesgos de inundación, derrumbes, etc.

La tasa de destrucción de capital riesgoso y no riesgoso consta de dos partes. Una es la tasa de depreciación normal δ_i y otra es $\hat{\phi}_{i,j}$ la destrucción de capital generada por los desastres naturales. De esta forma, la tasa de destrucción del capital en cada sector se define como:

$$\delta_{i,j}^T = \delta_i + \hat{\phi}_{i,j} \quad (35)$$

La hipótesis central del modelo, es que los desastres naturales destruyen el acervo de capital, tanto en el caso de la maquinaria, como en el de las viviendas. Sin embargo, las pérdidas generadas por los desastres naturales son menores para el caso del capital no riesgoso. Siguiendo la modelización propuesta por Ikefuji y Horii (2012), la destrucción esperada de capital generada por los desastres naturales en cada sector i de la economía es igual a:

$$\hat{\phi}_{i,j} K_{i,j}^d, \quad j = \{r, n\} \quad (36)$$

Donde $K_{i,j}^d$ es el acervo de capital demandado en cada sector.

La proporción del capital destruido ($\hat{\phi}_{i,j} = \Psi_j \psi_t$) depende de dos factores, uno asociado a la ubicación (zonas de riesgo o no riesgo, Ψ_j) y otro a factores económicos y de intensidad de los fenómenos naturales (ψ_t). En este modelo, al igual que en el modelo de gestión de riesgo, esta última está representada por la ecuación 29.

Demanda de capital riesgoso y no riesgoso

Las empresas productoras de servicios de vivienda y de los otros sectores de la economía demandan capital riesgoso y no riesgoso. A partir de una función CES que agrega el capital riesgoso y no riesgoso, cada una de las empresas en cada sector se enfrenta a un problema de minimización de costos de la forma:

$$\min R_i K_i^d = \sum_j R_{i,j} K_{i,j}^d, \quad j = \{r, n\} \quad (37)$$

Sujeto a:

$$K_i^d = \left[\sum_j \psi_{i,j} (K_{i,j}^d)^{1-\frac{1}{\sigma_i^k}} \right]^{\frac{\sigma_i^k}{1-\sigma_i^k}}, \quad j = \{r, n\} \quad (38)$$



donde R_i define el índice agregado del costo del capital, $R_{i,j}$ el costo de uso del capital por tipo de riesgo en cada sector i , y σ^k representa la elasticidad de sustitución entre capital riesgoso y no riesgoso en cada uno de los sectores. Como resultado de este proceso de minimización se encuentran las funciones de demanda para cada uno de los tipos de capital en cada uno de los sectores de la economía.

Adicionalmente, en cada periodo la destrucción total de capital generada por la depreciación y los desastres naturales ($DepDes$) es igual a:

$$DepDes = \sum_j \sum_i \delta_{i,j}^T K_{i,j}^d \quad (39)$$

Lo que implica que el acervo de capital total de la economía (K^{stock}) evoluciona de la siguiente forma:

$$K^{stock} = K^{stock}(-1) + INVR - DepDes \quad (40)$$

Donde $K^{stock}(-1)$ es el acervo de capital total del periodo anterior e INVR es la inversión total del periodo.

5.2. Calibración

Para calibrar el modelo MEGDES, se aplica la misma metodología que el de gestión de riesgo. Sin embargo, en lugar de suponer que la economía se encuentra en su equilibrio de largo plazo, en el que las variables, medidas en términos per cápita, crecen a la tasa exógena de productividad, se asume una tasa de interés real de equilibrio igual a 7%, la que se había encontrado en la calibración del modelo de gestión de riesgo.

5.3. Resultados de simulación MEGDES

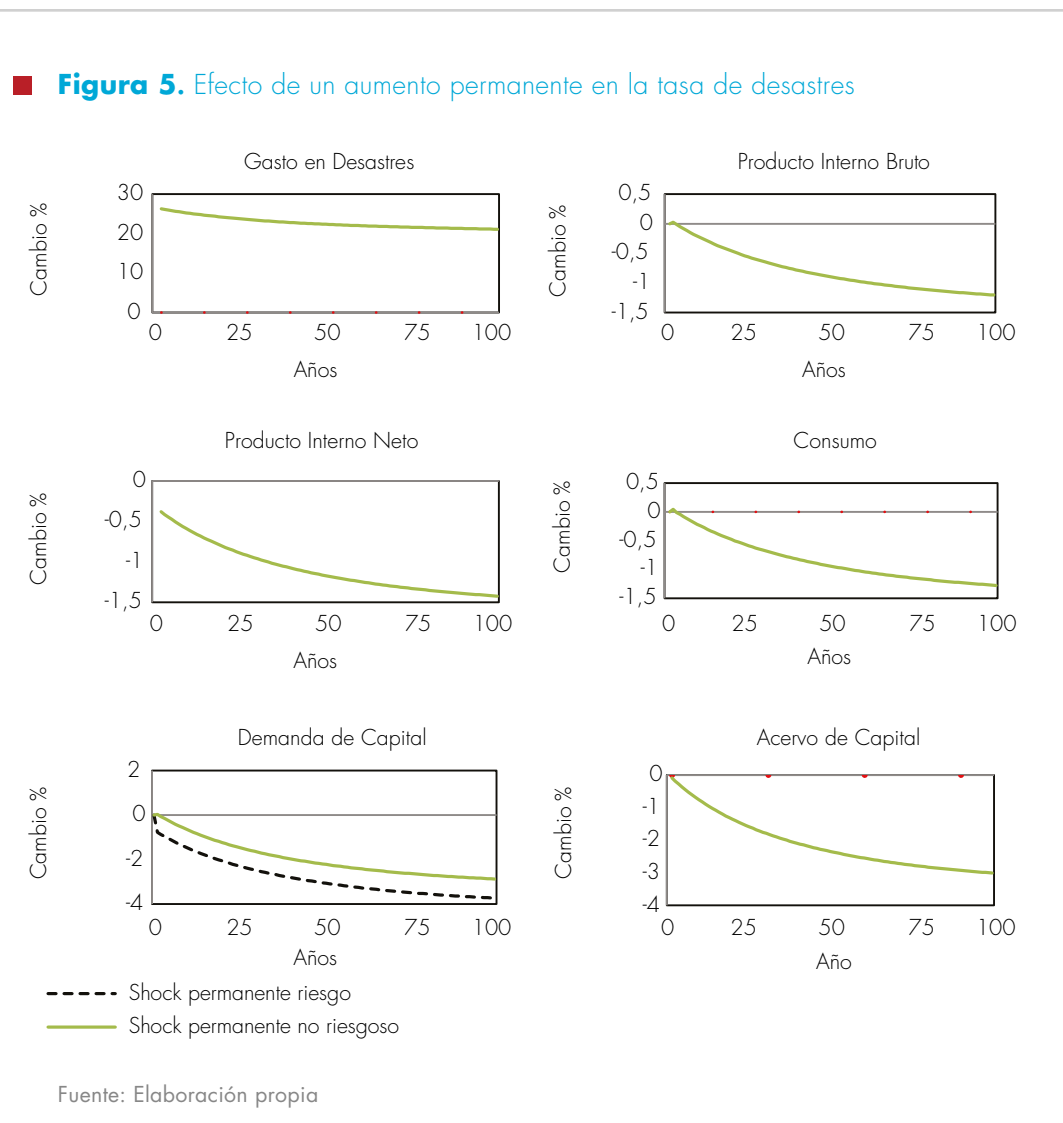
Con el modelo de gestión de riesgo anteriormente descrito se analiza el efecto de un cambio permanente en la tasa de desastres.

Efecto de un aumento permanente en la tasa desastres

En este ejercicio de simulación se realiza el mismo ejercicio que en el modelo de gestión de riesgo, consistente en incrementar en un 20% y, de manera permanente, el componente exógeno de la tasa de desastres. Los resultados de las simulaciones se pueden observar en la figura 5. Estos son cualitativamente similares a los encontrados con el modelo de gestión de riesgo. Sin embargo, las magnitudes de los cambios son más importantes. El Producto Interno Bruto cae paulatinamente. La caída del Producto Interno Neto sigue el mismo patrón

que la del PIB, hasta llegar a ser cercana al 1,5% en el largo plazo. El consumo se va reduciendo, hasta llegar a una caída del 1,4%.

Este efecto de largo plazo de los desastres naturales es muy cercano al encontrado con las regresiones departamentales, en las que se predice que un incremento de los desastres naturales en un 20%, tiende a reducir el PIB en un 1,5%.



6

Recomendaciones de política y reflexiones

Aunque las pérdidas por desastres naturales ligadas al cambio climático no son un porcentaje muy grande del PIB en Colombia, existe un número importante de familias, en particular las pobres, que se ven afectadas periódicamente por los desastres. El Gobierno



debe tener en cuenta dichas pérdidas y diseñar mecanismos para evitar que más familias se vean afectados por los desastres. La ubicación espacial de las personas y las empresas debe ser tenida en cuenta, al momento de diseñar políticas tendientes a reducir los desastres naturales. Buena parte de las pérdidas por desastres naturales están asociadas al hecho de que la población y la actividad productiva están ubicadas en zonas con riesgos grandes de inundación y deslizamientos.

Por otro lado, es de vital importancia desarrollar políticas tendientes a reducir los desastres naturales, en lugar de limitarse a reparar los daños una vez que estos han ocurrido. El gasto público en prevención de desastres, parece estar mucho más correlacionado con el porcentaje de personas y viviendas afectadas que los de atención a víctimas. Un incremento del gasto en gestión del riesgo, puede tener un efecto importante sobre la reducción de los desastres y el PIB.

En los planes de ordenamiento territorial se requiere la intervención de expertos que determinen las zonas de riesgo y ayuden a demarcar las zonas en las que las viviendas y empresas no pueden ubicarse, a causa de las altas probabilidades de inundaciones y deslizamientos o de cualquier otro desastre natural.

Para poder realizar una planeación adecuada de la política ambiental es fundamental tener un sistema de información ambiental, en el que todos los agentes involucrados puedan acceder fácilmente a información oportuna y confiable. Aunque ya existen iniciativas importantes a nivel nacional, que están desarrollando dicho sistema de información (SIAC), es indispensable acelerar al máximo dicho proceso.

Para el correcto diagnóstico de los efectos económicos y sociales, no basta con series de tiempo con grandes niveles de agregación o con información detallada, pero solo para un año o una región. Se requiere la construcción de series temporales suficientemente largas como para analizar lo que sucede, tanto en épocas en que ocurren los desastres, como aquellas en las que no los hay.

La construcción y acceso público de mapas con niveles de escala muy finos, permitiría ubicar de una mejor manera las zonas con riesgos de ser afectadas por los diversos tipos de desastres naturales. Los cambios de la ubicación espacial de la población y de las actividades económicas en dichas zonas deben hacerse posible, mediante el análisis geo-referenciado de los censos de población y económicos. En la presente investigación se hizo un primer ejercicio para evaluar la ubicación de las personas y viviendas en zonas de riesgo. Sin embargo, este tipo de ejercicios se podría mejorar sustancialmente si existiera mejor información.

El apoyo interinstitucional para impulsar dicho sistema de información ambiental y la difusión digital y gratuita de dicha información facilitaría a las autoridades nacionales, locales y a los agentes económicos privados, no sólo la toma de decisiones, sino también la investigación y debate sobre las mejores medidas para disminuir los costos económicos de los desastres ambientales, así como la frecuencia de los mismos.

7

Conclusiones

En la presente investigación se analizaron las interrelaciones entre el crecimiento económico y los desastres naturales desde un punto de vista macroeconómico. Para el estudio de estas interrelaciones se utilizaron cuatro instrumentos diferentes. Regresiones con un panel de datos departamental, regresiones con un panel de datos municipal, un modelo dinámico con un modelo de gestión de riesgo con expectativas racionales y, finalmente, un modelo recursivo de equilibrio general de la economía colombiana.

Tanto las regresiones departamentales, como los ejercicios con el modelo de equilibrio general recursivo (MEGDES) predicen que un incremento permanente de 20% en el componente exógeno de los desastres naturales genera una caída de 1,5% en el PIB de largo plazo. Sin embargo, el modelo de gestión de riesgo con expectativas racionales predice un efecto más moderado de dicho incremento en los desastres naturales (0,5% de caída en el producto interno neto).

Las diferencias entre las predicciones de estos dos modelos se pueden deber a las fortalezas y debilidades de cada uno de ellos. El modelo de gestión de riesgo tiene en cuenta los cambios en las decisiones de ahorro y consumo de los hogares generados por el efecto de las expectativas sobre futuros eventos relacionados con los desastres naturales, pero la estructura productiva es muy sencilla: dos sectores productivos, dos factores de producción (capital y trabajo), no hay consumo intermedio, ni sector externo. Por su parte, el modelo de equilibrio general recursivo (MEGDES) tiene en cuenta el consumo intermedio, el sector externo, el consumo de energía, un número grande de sectores productivos y las importaciones. Sin embargo, supone un comportamiento muy sencillo de los hogares, al momento de tomar sus decisiones de ahorro e inversión, al punto que supone que los hogares ahorran un porcentaje constante de sus ingresos.

Los ejercicios econométricos municipales permitieron evidenciar la importancia de la ubicación espacial de las viviendas en la determinación de los costos económicos de los desastres naturales. Si la población en zona de riesgo se redujera en un 20%, la tasa de desastres, medida por la proporción de muertos, desaparecidos, heridos y afectados, caería en un 4,5% y la tasa de viviendas destruidas y afectadas caería en un 3%. Estos efectos directos de la ubicación de los agentes sobre la tasa de desastres se pueden ver magnificados, al tener en cuenta los efectos positivos de los desastres sobre el PIB, el cual tiende a disminuir aún más los desastres. Estos efectos indirectos los tiene en cuenta el modelo de equilibrio general con gestión de riesgo, el cual predice que una disminución de 20% en la proporción del capital (maquinaria y vivienda) ubicado en zonas de riesgo de desastres produce una caída permanente del 6% en los desastres naturales.

Finalmente, los ejercicios econométricos sobre los efectos del gasto en gestión de riesgo mostraron un efecto considerable y significativo en la reducción de los desastres, aunque las estimaciones de dicho coeficiente a partir de regresiones municipales para el período 2004-2009 no fueron robustas a modificaciones moderadas en la estructura del modelo. A pesar de la incertidumbre sobre el valor del coeficiente del gasto en gestión de riesgo, las simulaciones realizadas con el coeficiente estimado muestran que el gasto en gestión de riesgo puede tener un efecto importante en la reducción de los desastres naturales, e incluso en el crecimiento del PIB.



Bibliografía

- Albala-Bertrand J.M. 1993. Political economy of large natural disasters. Oxford, United Kingdom: Clarendon Press.
- Alonso-Borrego, C. Arellano, M. 1999. Symmetrically normalized instrumental-variable estimation using panel data. *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 17(1), pp. 36-49.
- Arellano, M. Bond, S. 1991. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, Vol. 58(2), pp. 277-297.
- Arellano, M. Bover, O. 1995. Another look at the instrumental-variable estimation of error-components model. *Journal of Econometrics*. Vol. 68, pp. 29-52.
- Banco Mundial. 2012. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Bogotá, Colombia, 2012.
- Barro, R. 1991. Economic growth in a cross section of countries. *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 106(2), pp. 407-443.
- Barro, R. Sala-i-Martin, X. 2004. *Economic Growth*, MIT press, segunda edición.
- BID-CEPAL-DNP. 2014. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia - Síntesis. S. Calderón, G. Romero, A. Ordóñez, A. Álvarez, C. Ludeña, L. Sánchez, C. de Miguel, K. Martínez y M. Pereira (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 221 y Naciones Unidas, LC/L.3851, Washington D.C.
- Barro, R. y Sala-i-Martin, X. 1992. Public Finance in Models of Economic Growth, *Review of Economic Studies*, Wiley Blackwell, Vol. 59(4), pp. 645-61.
- Blankespoor, B. Dasgupta, S. Laplante, B. Wheeler, D. 2010. The economics of adaptation to extreme weather events in developing countries. Working Paper No. 199, Center for Global Development.
- Blundell, R. Bond, S. 1998. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, Vol. 87(1), pp. 115-143.
- Bond, S, A. Hoeffler y J. Temple. 2001. GMM Estimation of Empirical Growth Models. *Economics Papers 2001-W21*, Economics Group, Nuffield College, University of Oxford.
- Cavallo, E. Noy, I. 2010. The economics of natural disasters: a survey. IBD Working Paper Series, No. 124. Inter-American Development Bank.
- Cavallo, E. Galiani, S. Noy, I. Pantano, J. 2010. Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth, Mimeo, Inter-American Development Bank: Washington, D.C.
- Cavallo, E. Powell, A. Becerra, O. 2010. Estimating the Direct Economic Damage of the Earthquake in Haiti. *The Economic Journal*, Vol. 120.
- CEPAL y BID. 2012. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011. Bogotá: Misión BID - CEPAL. 248 p.
- DNP. 2012. 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, Bogotá, Colombia. 52 pp.
- Freeman, P. Keen, M. Mani, M. 2003. Dealing with increasing risk of natural disasters: challenges and options. IMF Working paper, No. 197, International Monetary Fund.
- Gujarati, D. 1997. *Econometría*. Cuarta Edición McGraw Hill. 824 p.
- Hurtado, G. Cadena, M. 2002. Aplicación de Índices de Sequía en Colombia, *Meteorología Colombiana*, No.5, pp. 131-137
- Ikefuji, M. Horii, R. 2012. Natural disasters in a two-sector model of endogenous growth, *Journal of Public Economics*, Vol. 96, pp. 784-796.
- Islam, N. 1995. Growth Empirics: A Panel Data Approach, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110(4), pp. 1127-1170.
- Jaramillo, C. R. H. 2009. Do Natural Disasters Have Long-Term Effects On Growth?. Manuscript. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Kahn M E. 2005. The Death Toll from Natural Disasters: The Role of Income, Geography, and Institutions. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 87(2), pp. 271-284.
- Kellenberg, D. Mobarak, A. 2008. Does rising income increase or decrease damage risk? *Journal of Urban Economics*, Vol. 63, pp. 788-802.
- Loayza, N. Olaberría, E. Rogolini, J. Christiaensen, L. 2012. Natural disasters and growth: going beyond the averages. *World Development*, Vol. 40(7). pp. 1317-1336.

- Michel, E. Hochrainer, S. Kunreuther, H. Linnerooth, J. Mechler, R. Muir, R. Ranger, N. Vaziri, P. Young, M. 2012. Catastrophe Risk Models for Evaluating Disaster Risk Reduction Investments in Developing Countries, *Risk Analysis*, Vol. 33(6).
- Noy, I. 2009. The Macroeconomic Consequences of Disasters. *Journal of Development Economics*, Vol. 88(2), pp. 221-231.
- Noy, I. Nualsri, A. 2007. What do Exogenous Shocks tell us about Growth Theories?. Working Paper No. 07-28, University of Hawaii.
- Padli, J. 2009. Natural disasters death and socio-economic factors in selected Asian countries: a panel analysis. *Asian Social Science*. Vol. 5(4), pp. 65-71.
- Padli, J. Shah, M. y Baharom, A.H. 2010. Economic impact of natural disasters' fatalities. *International Journal of Social Economic*, Vol. 37(6). pp 429-441.
- Raddatz C. 2007. ¿Are External Shocks Responsible for the Instability of Output in Low-Income Countries? *Journal of Development Economics*, Vol. 84(1), pp.155-187.
- Raschky, P. A. 2008. Institutions and the Losses from Natural Disasters. *Natural Hazards Earth Systems Science*, Vol. 8, pp. 627-634.
- Rodriguez-Oreggia, E., A. de la Fuente, R. de la Torre, H. Moreno y C. Rodriguez. 2010. The Impact of Natural Disasters on Human Development and Poverty at the Municipal Level in Mexico CID Working Paper No. 43 February 2010.
- Roodman D. 2009. How to do xtabond2: an introduction to difference and system GMM in Stata. *The Stata Journal*. Vol 9(1), pp. 86-136.
- Sanchez F. y J. Núñez. 2000. Geography and Economic Development in Colombia: A Municipal Approach, Interamerican Development Bank, CEDE, Working-Paper.
- Skidmore, M. Toya, H. 2002. Do Natural Disasters Promote Long-run Growth?. *Economic Inquiry*. Vol. 40(4), pp. 664-687.
- Toya, H. Skidmore, M. 2005. Economy development and the impacts of natural disasters. Working Paper No. 05-04, University of Wisconsin.
- Tribín, A. 2006. Tasa de Rendimiento de Capital de Colombia para el Período entre 1990-2001, Borradores de Economía, Banco de la República, Bogotá.



Anexo I: Estimaciones econométricas sobre el efecto de la inversión en gestión de riesgo sobre los desastres naturales.

Debido a que la variable de inversión per cápita en gestión de riesgo, no pudo ser incluida en la regresiones realizadas con información de desastres acumulados entre el periodo 1980-2005, pues no hay información disponible sobre esta variable para ese periodo. Se realizó un ejercicio con la información disponible para el periodo 2004-2009, en donde se estima el siguiente sistema de ecuaciones con el fin de determinar el efecto de la inversión en mitigación de desastres sobre la reducción de la proporción de las viviendas afectadas y destruidas en los desastres naturales:

$$\log(VIVAF)_i = \delta_0 + \delta_1 ICV_i + \delta_2 Pzr_i + \delta_3 LLuv_i + \delta_4 Ica_i + \delta_5 \log(IGr)_i + \epsilon_i \quad (41)$$

$$ICV_i = \delta_0 + \delta_1 ldist_i + \delta_2 Hom_i + \delta_3 Edu_i \quad (42)$$

Donde *VIVAF* es el promedio del porcentaje de viviendas destruidas y afectadas en los desastres acumulados en el periodo 2004-2009, *ICV* es el índice de calidad de vida y *Hom* es la tasa de homicidios por cada 100 mil habitantes. Los resultados de la estimación por el método 2SLS se muestran en la tabla 10. Los resultados de la regresión [B3] de la tabla 10 muestran que el coeficiente asociado a la inversión per cápita en mitigación de desastres es negativo y significativo al 1%, lo que indica que un aumento del 1% en la inversión per cápita en la mitigación, reduce la proporción de viviendas destruidas y afectadas en 0,249%. La prueba de Sargan y el de Stock y Yogo muestran que los instrumentos utilizados son válidos y no débiles.

En la tabla 10 se muestran los resultados de la regresión. En ésta se puede observar que en los municipios donde las pérdidas por desastres naturales ($\log(VIVAF)$) y la distancia a los principales mercados es mayor, el *ICV* es menor. Mientras que en aquellos municipios donde la educación y la tasa de homicidios es mayor, el *ICV* también es más alto.

Tabla 10. Efecto de la inversión en gestión de riesgo sobre los desastres naturales, 2004-2009

Variables independientes	Variables dependientes				
	ICV	Viv_ZSI	log(VIVAF)	log(VIVAF)	ICV
	[A1] I Etapa	[A2] I Etapa	[A3] II Etapa	[A4] I Etapa	[A5] II Etapa
Índice de Calidad de Vida (ICV)			-0,027** (0,010)		
Proporción de las viviendas en zonas susceptibles a inundación (Viv_ZSI)			2,18*** (0,40)		
Inversión per cápita en mitigación de desastres (log)	0,032 (0,089)	0,0008 (0,004)	-0,249*** (0,066)	-0,170*** (0,053)	
Lluvias extremas	-0,051 (0,046)	0,013*** (0,001)	0,11*** (0,035)	0,122*** (0,03)	
Índice de capacidad administrativa-ICA-	0,075*** (0,010)	-0,0001 (0,0004)	0,002 (0,008)		
Log(VIVAF)					-0,859*** (0,254)
Proporción del área susceptible a inundación -área _SI -	-1,188** (0,588)	1,054*** (0,024)		1,694*** (0,338)	
Tasa de homicidios Per Cápita	0,031*** (0,002)	-0,0002** (0,0001)		0,002 (0,001)	0,033*** (0,003)
Distancia a los principales mercados (log)	-0,008*** (0,001)	0,00007 (0,00005)		-0,001 (0,0008)	-0,009*** (0,002)
Educación	3,159*** (0,47)	0,0008 (0,002)		-0,079** (0,28)	3,19*** (0,059)
Prob estadístico-F	0,000	0,000		0,000	
Observaciones	991	991	991	1.035	1.035
R-cuadrado	0,86	0,68		0,08	
Prueba de Sargan (p-valor)			0,10		0,83
Prueba de Stock y Yogo (p-valor)			<5%		<5%

*** Significativo al 1%, ** significativo al 5%, *significativo al 10%.
VIVAF hace referencia al promedio anual del porcentaje de viviendas afectadas y destruidas en los desastres naturales acumulados entre 2004 y 2009.
Error estándar en Paréntesis

Fuente: Elaboración propia



Anexo II: Pruebas de robustez de las regresiones a nivel municipal

Para analizar la robustez de las regresiones presentadas en el presente informe se hicieron varios ejercicios. Uno de ellos fue utilizar el Índice de calidad de vida en vez del Producto Interno Bruto, al estilo de Rodríguez et al. (2010) donde analizan el impacto de las amenazas naturales sobre el desarrollo humano y la pobreza a nivel municipal en México. A partir de estas estimaciones por el método 2SLS, se obtuvo que los coeficientes asociados al exceso promedio de las lluvias extremas y a la población/viviendas localizadas en zonas de inundación, siguen siendo positivos y significativos. Independientemente de la forma en que se midan los desastres. (MD, MHAF o VIVAF).

En la tabla 11, por ejemplo, se puede observar que cuando los desastres se miden como la proporción de viviendas afectadas y destruidas, y se utiliza como variable explicativa el índice de calidad de vida, los resultados no varían mucho en términos de signo y significancia de los coeficientes, e incluso, la magnitud tampoco cambia.

Otros ejercicios adicionales que se hicieron, fue incluir la tasa de escolaridad femenina como variable explicativa de los desastres naturales. En trabajos como el de Blakenspoor et al. (2010), se encuentra una relación positiva y significativa entre esta variable y la reducción de la magnitud de los desastres naturales. Sin embargo, esta variable no da significativa; también se utilizaron los años promedio de educación de la mujer y no se obtuvieron resultados significativos del coeficiente asociados a estas variables.

Adicionalmente, se realizaron los mismos ejercicios econométricos presentados en este trabajo, teniendo en cuenta solo los municipios pequeños (con menos de 20 mil habitantes) y solo los municipios grandes (con más de 20 mil habitantes). En ambos casos los resultados no cambian (el signo y la significancia de los coeficientes no cambia).

Tabla 11. Determinantes de las VIVAF y sus efectos sobre el índice de calidad de vida

Variables independientes	Variables dependientes				
	ICV	Viv_ZSI	VIVAF	VIVAF	ICV
	[B1] I Etapa	[B2] I Etapa	[B3] II Etapa	[B4] I Etapa	[B5] II Etapa
Índice de Calidad de Vida (ICV)			-0,0001*** (0,00001)		
Proporción de las viviendas en zonas susceptibles a inundación (Viv_ZSI)			0,003*** (0,0009)		
Lluvias extremas	-0,035 (0,078)	0,011*** (0,003)	0,0002 (0,00009)	0,0002** (0,0001)	
Altitud	-0,246 (0,193)	-0,060*** (0,006)	-0,0008 (0,0002)	-0,001*** (0,0002)	
Índice de capacidad administrativa (ICA)	0,085*** (0,011)	0,0007* (0,0003)	-0,00002* (0,00001)		
VIVAF				-180,12** (75,40)	
Proporción del área susceptible a inundación (área _SI)	-2,278*** (0,691)	0,923*** (0,025)		0,004*** (0,0008)	
Distancia a los principales mercados(log)	-0,008*** (0,001)	0,0001** (0,00005)		0,0000 (0,0000)	-0,01*** (0,001)
Educación	2,990*** (0,107)	0,003** (0,002)		-0,0002* (0,00006)	3,24*** (0,053)
Longitud per cápita de los ríos primarios	-0,007* (0,004)	-0,0001 (0,0001)		0,0000 (0,0000)	-0,004 (0,004)
Prob estadístico-F	0,000	0,000		0,000	
Observaciones	1.015	1.015	1.015	1.066	1.066
R-cuadrado	0,85	0,72		0,13	
Prueba de Sargan (p-valor)			0,93		0,03
Prueba de Stock y Yogo (p-valor)			<5%		<5%

*** Significativo al 1%, ** Significativo al 5%, *Significativo al 10%. VIVAF promedio anual del porcentaje viviendas afectadas y destruidas en los desastres naturales ocurridos entre 1980 y 2005.
Error estándar en Paréntesis

Fuente: Elaboración propia



IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS

Publicaciones relacionadas:

- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Síntesis
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Transporte
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Ganadero
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Pesquero
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Forestal
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Recurso Hídrico
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Especies Nativas y Biocomercio
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Análisis Costo-Beneficio de Medidas de Adaptación



DNP Departamento
Nacional
de Planeación

