

No. **104**

enero del 2024

ISSN 2215 - 7816 (En línea)

Documentos de Trabajo

Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo

Efectos de fenómenos
hidrometeorológicos sobre el valor
agregado municipal en Colombia del
2011 al 2020

Leandro Moreno Farfán

Serie Documentos de Trabajo 2024

Edición No. 104

ISSN 2215-7816 (En línea)

Edición digital

Enero del 2024

© 2024 Universidad de los Andes, Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo

Carrera 1 No. 19 -27, Bloque Aulas

Bogotá, D.C., Colombia

Teléfono: 3394949, ext. 2073

publicaciones@uniandes.edu.co

<http://gobierno.uniandes.edu.co>

Autor

Leandro Moreno Farfán

Directora de la Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo

María Margarita, Paca, Zuleta

Coordinación editorial, Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo

Angélica María Cantor Ortiz

Dirección de Investigaciones, Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo

Diego Iván Lucumí Cuesta

Diagramación de cubierta, Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo

Miguel Ángel Campos

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y solo serán lícitos en la medida en que cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor solo serán aplicables en la medida en se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair Use); estén previa y expresamente establecidas; no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular; y no atenten contra la normal explotación de la obra.

Efectos de fenómenos hidrometeorológicos sobre el valor agregado municipal en Colombia del 2011 al 2020¹

Por Leandro Moreno Farfán²

Resumen

El cambio climático es uno de los mayores retos que enfrentan los países en el siglo XXI. En ese escenario, Colombia es un país vulnerable a los efectos tal fenómeno. Asimismo, en la última década, en el país se ha materializado el riesgo por cambio climático, dados determinados fenómenos hidrometeorológicos como inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales. Con el fin de entender el impacto económico de los eventos hidrometeorológicos, se han desarrollado estudios a nivel nacional los cuales muestran su impacto macroeconómico, y otros a nivel sectorial, que muestran el impacto en sectores como la agricultura y el transporte. No obstante, permanece un vacío en la literatura académica colombiana con relación al análisis a nivel municipal; información que puede ser utilizada por tomadores de decisión y evaluadores de políticas públicas para hacer frente a la problemática expuesta. Por tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de los eventos hidrometeorológicos con relación al valor agregado municipal, entendiéndolo como un proxy de crecimiento económico. Con tal fin, se hace uso de las últimas metodologías de *diferencias en diferencias* (DD). Estas permiten tener en cuenta efectos heterogéneos a lo largo del tiempo, los cuales corrigen sesgos de metodologías de *efectos fijos*, según ha sido documentado recientemente. De igual modo, los resultados sugieren un efecto negativo de la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos sobre el valor agregado de los municipios en el año del evento, así como uno y tres años luego de su acaecimiento. Asimismo, estos indican que hay efectos diferenciados sobre el valor agregado, dependiendo del tipo de evento hidrometeorológico al que se vea enfrentado el municipio. En ese contexto, mientras que las inundaciones tienen un efecto negativo, los movimientos en masa se asocian con crecimiento en el valor agregado municipal, en concordancia con la teoría de la *destrucción creativa*.

Palabras clave: cambio climático, eventos hidrometeorológicos, crecimiento económico, valor agregado, inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales.

¹ Tesis de maestría: esta investigación fue presentada como tesis de Maestría en Políticas Públicas de la Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo de la Universidad de los Andes en mayo de 2023, bajo la dirección de Stephanie Majerowicz Nieto.

² Magíster en Políticas Públicas de la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia. Email: lm.morenofuniandes.edu.co

Abstract

Climate change is one of the greatest challenges that countries are facing in the 21st century. Colombia is a vulnerable country to the effects of climate change. Also, in the last decade it has witnessed the materialization of climate change risk through hydrometeorological phenomena, such as floods, landslides, and torrential rivers. In order to understand the economic impact of hydrometeorological events, studies have been conducted at the national level, showing the macroeconomic impact, as well as at the sectoral level, focusing on sectors such as agriculture and transportation. However, there is still a gap in Colombian literature regarding municipal-level analysis that can be used by decision-makers and policy evaluators to address this issue. In such context, the objective of this study is to assess the impact of hydrometeorological events on municipal value-added, understanding it as a proxy variable for economic growth. For this purpose, the latest difference-in-differences methodologies are employed, as they consider dynamic effects over time, and correct biases from fixed effects methodologies, as it was recently documented. Thus, the results suggest a negative effect of hydrometeorological events on municipal value-added in the year of the event and one to three years after its occurrence. They also indicate differentiated effects depending on the type of hydrometeorological event that the municipality faces, with floods having a negative effect and landslides being associated with growth in municipal value-added, in line with the theory of *creative destruction*.

Keywords: climate change, hydrometeorological events, economic growth, value added, floods, landslides, torrential rivers.

Tabla de contenido

1.	Introducción.....	4
2.	Contexto	7
	2.1 Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático	7
	2.2 Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades	8
	2.3 Contexto político.....	10
3.	Marco teórico.....	12
4.	Revisión de literatura.....	14
	4.1 Revisión de literatura internacional.....	14
	4.2 Revisión de literatura nacional.....	16
5.	Estrategia empírica	19
	5.1 Descripción general de los datos.....	19
	5.2 Estadísticas descriptivas	22
	5.2.1 Riesgo por cambio climático y riesgo de desastres ajustado según las capacidades.....	22
	5.2.3 Valor agregado	26
	5.2.4 Fenómenos hidrometeorológicos	27
	5.2.5 Caracterización de municipios según el número de eventos hidrometeorológicos ..	33
6.	Metodología	35
	6.1 Two way fixed effects (TWFE).....	37
	6.2 Estudio de eventos	37
	6.3 De Chaisemartin y D'Haultfoeuille.....	38
7.	Presentación de resultados	40
	7.1 Two way fixed effects	40
	7.2. Estudio de eventos	41
	7.3 Modelo de Chaisemartin y D'Haultfoeuille	42
	7.4 Efecto del acumulado de eventos hidrometeorológicos	44
	7.5 Efectos heterogéneos por tipo de evento.....	45
	7.6 Otras especificaciones	48
7.	Próximos pasos	48
8.	Conclusiones	50
9.	Recomendaciones de política pública	52
10.	Referencias.....	56
11.	Anexos	62

1. Introducción

Por medio de reportes como *Climate Change 2021: the Physical Science Basis*, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático sostiene que en las décadas venideras el cambio climático aumentará, afectando a todas las regiones del planeta de manera heterogénea. De tal modo, se pronostica una intensificación del ciclo del agua, en un marco en el que actualmente el cambio climático está afectando los patrones de lluvia, pues, “según se prevé, las precipitaciones aumentarán en las latitudes altas, en el Pacífico ecuatorial y en partes de las regiones monzónicas, pero disminuirán en partes de los subtrópicos” (IPCC, 2021A, p. 21).

De igual manera, el Banco Mundial ha destacado el impacto económico que los desastres ocasionados por el cambio climático producen (2019). En ese sentido, ha afirmado que estos

cuestan alrededor de 18 mil millones de dólares al año en los países de ingresos bajos y medios a través de daños a generación eléctrica e infraestructura de transporte . . . y también generan pérdidas más cuantiosas a los hogares y las firmas que cuestan al menos 390 mil millones de dólares al año. (Banco Mundial, 2019, p. xiii).

Asimismo, el efecto del cambio climático es mayor en poblaciones más vulnerables y en países en desarrollo, debido a su baja capacidad de adaptación al cambio climático. A su vez, ese bajo potencial tiene explicación principalmente en factores como la ubicación geográfica y los ingresos. Dichos dos factores, aunados al cambio climático y a los choques que este ocasiona, pueden aumentar la pobreza de manera directa o indirecta. Por ejemplo, un hogar afectado por sequías tenía en el pasado quince veces más probabilidades de caer en la pobreza (Hallegatte et al., 2018).

De igual modo, Hallegatte et al. (2018) identifican otros mecanismos con los cuales el cambio climático puede afectar de manera desproporcionada a la población vulnerable, y puede tener efectos muy importantes en cuanto a los niveles de pobreza en los que se encuentra. En ese sentido, el primero de esos mecanismos corresponde a la atención de la salud y la alimentación, en un marco en el que las enfermedades transmitidas por vectores aumentan, y eventos como las inundaciones pueden acarrear pérdidas en las cosechas.

Aquello pone en riesgo entonces la seguridad alimentaria de la población. De igual modo, Hallegate et al. (2018) también exponen cómo —dado que la pobreza es impulsada por la capacidad de acumulación activos— en tales condiciones la reducción de la pobreza se puede ralentizar, debido a una menor productividad, y a las pérdidas de activos ocasionadas por desastres relacionados con el cambio climático.

En ese contexto, el tercer mecanismo corresponde a un cambio en el comportamiento de las personas orientado hacia una mayor aversión al riesgo. Por ejemplo, los riesgos que involucra presenciar fenómenos hidrometeorológicos tales como inundaciones, pueden incidir en las decisiones de inversión de las personas, lo cual dificulta su salida de la pobreza. En ese orden de ideas, el cambio climático “obstaculiza la reducción de la pobreza al crear un desincentivo para ahorrar e invertir” (Hallegate et al., 2018).

Actualmente, Colombia se posiciona como un país con altos niveles de riesgo por cambio climático (Ideam et al., 2017) y variabilidad climática (DNP, 2021). Dichos factores amenazan con afectar a diversos sectores de la economía, así como a la economía misma de los municipios en Colombia. Aquel alto nivel se materializa de tal modo en el acaecimiento de fenómenos hidrometeorológicos tales como inundaciones, movimientos de masa y avenidas torrenciales³. El descrito es entonces un problema importante, no solo ante los impactos que han tenido históricamente los eventos hidrometeorológicos sobre las viviendas, las familias y las economías de los municipios. Además, involucra el que estos suelen afectar de manera diferenciada a la población más vulnerable del país, como se expondrá a lo largo del documento.

De tal modo, la presente investigación se enfocará en responder una pregunta. ¿Cuál es el efecto de los fenómenos hidrometeorológicos en el valor agregado de los municipios en Colombia? Con el fin de contestar esa pregunta, se utilizaron las metodologías de *two way fixed effects* (TWFE), el *estudio de eventos* y los últimos avances en cuanto a *diferencias en diferencias dinámicas*. Estos permiten a su vez corregir inconsistencias que ha identificado la literatura al momento de implementar el modelo TWFE durante varios periodos en los que el tratamiento se enciende y se apaga. En particular, mediante el método desarrollado por Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022B), se observó que los eventos hidrometeorológicos

³ Son también entendidos como fenómenos de variabilidad climática por el DNP (2021).

reducen el valor agregado municipal tras uno y tres años luego de ocurrido el evento, en el marco de un estudio con un nivel de confianza del 95 %. Asimismo, se obtuvieron resultados diferenciados por tipo de evento. En ellos, se observa que ser afectado por una inundación está asociado con una reducción del valor agregado municipal en proporciones del 8 %, 10 %, 12 % y 15 %, tras dos, tres, cuatro y seis periodos luego de ocurrido el evento, respetivamente. Por otra parte, se observó una relación causal *positiva* entre la ocurrencia de movimientos en masa y el valor agregado municipal, lo cual llegó a asociarse con un aumento de hasta 14 %, seis años después de que tuviera lugar el movimiento en masa. Lo anterior se da en contraposición a los modelos de TWFE. Estos no encontraron resultados estadísticamente significativos, y, en algunos casos, sugerían un impacto positivo en el valor agregado municipal.

Asimismo, el principal aporte de la investigación a la literatura se centra en brindar conocimientos a nivel municipal sobre la injerencia de eventos hidrometeorológicos en el crecimiento económico de los municipios. De tal modo, lo anterior ayudaría a llenar vacíos importantes en la literatura nacional en torno al cambio climático. Efectivamente, en su mayoría esta se ha enfocado en conocer los efectos a nivel macroeconómico y sectorial de los fenómenos naturales señalados, y a brindarles recomendaciones de política pública a aquellos municipios que ven más afectada su economía por los eventos climáticos. A su vez, dicho aporte es relevante, dado que los estudios macroeconómicos y nacionales adelantados en la literatura colombiana esconden una variación subnacional, puesto que no todos los municipios tienen los mismos niveles de riesgo y vulnerabilidad por cambio climático. De tal modo, lo anterior hace necesario un estudio que analice la variación municipal, y que muestre los impactos diferenciados que podría tener el cambio climático dentro del territorio nacional. En tal escenario, al hacer uso de las últimas metodologías de diferencias en diferencias, la investigación permitirá complementar algunos resultados como los observados en el trabajo del BID y DNP (2015) donde se utilizaron regresiones a nivel municipal con variables instrumentales, dado que hasta el momento era la aproximación más conocida para entender la temática en cuestión a nivel municipal en el país.

2. Contexto

En el contexto expuesto, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como “un cambio en el estado del clima que puede ser por cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, típicamente décadas o más”⁴ (IPCC, 2012, p. 557). Además, este también se puede entender como un cambio de clima “atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (ONU, 1992, p. 3).

De tal modo, los fenómenos hidrometeorológicos que se analizarán en la presente investigación —que corresponden a inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales— tienen relación con el cambio climático, en la medida en que estos se han incrementado por factores como la precipitación. En su reporte del 2021, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) indicó que “cada 0,5° C adicional de calentamiento global provoca aumentos claramente perceptibles en la intensidad y la frecuencia de los extremos cálidos, incluidas las olas de calor (muy probable) y las fuertes precipitaciones (nivel de confianza alto)” (IPCC, 2021 B, p. 16). Además, se ha demostrado que los fenómenos hidrometeorológicos en cuestión se han visto agudizados por las precipitaciones. Por ejemplo, Aristizábal et al. (2022) evidenciaron que “el aumento de la duración de las lluvias afecta significativamente la ocurrencia de movimientos superficiales en suelos” (p. 51), como respuesta a las condiciones de lluvia en términos de intensidad y duración.

2.1 Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático

Según el marco temático abordado, es necesario entender qué es y cómo se compone el riesgo por cambio climático. De acuerdo con la *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*, el riesgo está compuesto por la vulnerabilidad al cambio climático y la amenaza de cambio climático (Ideam et al., 2017). Así pues, la *vulnerabilidad* es comprendida por el IPCC como la propensión a verse afectado negativamente por el cambio climático, a la vez

⁴ El cambio climático puede obedecer a cambios internos naturales, o procesos o forzamientos externos, o bien a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en la tierra (IPCC, 2012).

que se define como el cociente entre la sensibilidad y la capacidad adaptativa⁵ (Ideam et al., 2017). Es fundamental comprender que una mayor capacidad adaptativa acarrea una menor vulnerabilidad. A su vez, la amenaza climática hace referencia a la “amenaza de una potencial ocurrencia de eventos de cambio climático que pueden tener un impacto físico, social, económico y ambiental en una zona determinada por un cierto período. Cada amenaza se caracteriza por su localización, frecuencia e intensidad” (Ideam et al., 2017). Actualmente, en Colombia “existen 119 municipios con riesgo muy alto por cambio climático a los cuales se debe orientar la atención prioritaria para la gestión adaptativa del territorio” (Ideam et al., 2017).

2.2 Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades

Asimismo, según lo estipulado por el DNP (2019), el riesgo de desastres indicaría la proporción de personas socialmente vulnerables que están expuestas ante amenazas hidrometeorológicas⁶. De igual modo, según el Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades, “el 29 % del territorio nacional tiene las condiciones más críticas de amenazas . . . y en 513 municipios confluyen los tres tipos de amenazas en sus condiciones más críticas” (DNP, 2019, p. 20). Aquello corresponde a los 3 fenómenos anteriormente mencionados: inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos de masa o deslizamientos.

A su vez, el riesgo por cambio climático manifestado por medio de fenómenos hidrometeorológicos como inundaciones, constituye un problema pues afecta el bienestar de las familias, y ocasiona pérdidas económicas considerables para el país. Según el DNP (2019), “2800 viviendas son destruidas en promedio al año” (p. 31) como consecuencia de dichos fenómenos. A su vez, el 13 % de la población presenta condiciones de riesgo ante esos fenómenos (DNP, 2021).

⁵ La *capacidad adaptativa* corresponde a la calidad y la fortaleza de las instituciones para prevenir y luego atender las consecuencias de los eventos extremos. A su vez, la *sensibilidad* corresponde a las condiciones desfavorables para afrontar una amenaza de cambio climático, bien sea por la baja gestión en la calidad de vida de los habitantes, o por una alta presión de transformación antropogénica (Ideam et al., 2017).

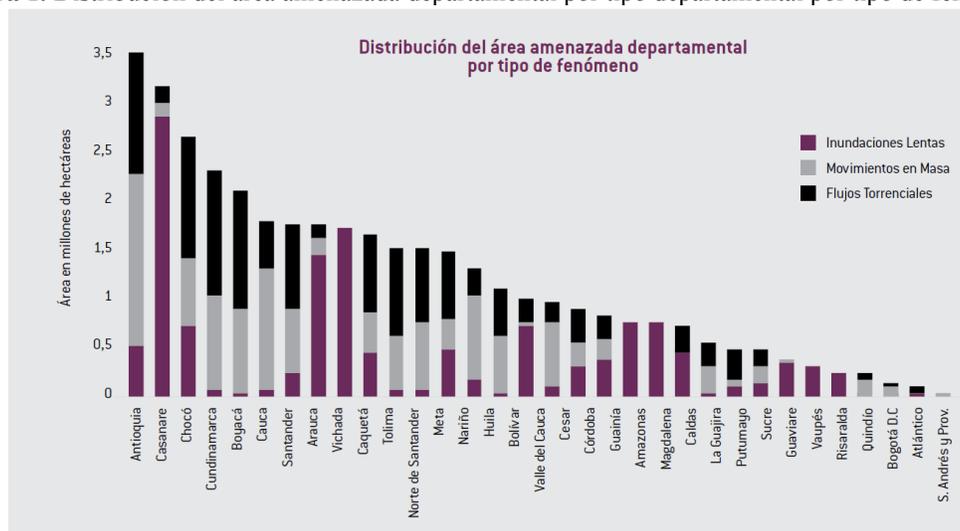
⁶ La *exposición* corresponde a la proporción de la población del municipio expuesta a alguno de los tres fenómenos considerados en la dimensión de la amenaza. A su vez, la *amenaza* atañe a la unión de las áreas con las condiciones físicas más críticas de inundaciones lentas, movimientos en masa y flujos torrenciales. La *vulnerabilidad* es en tanto la predisposición de las personas a verse afectadas negativamente por un evento físico peligroso. En efecto, refleja el grado de privación de las condiciones mínimas de calidad de vida de las personas del municipio (DNP, 2019).

En tanto, de acuerdo con estimaciones del Portal de Conocimiento sobre el Cambio Climático (CCKP) del Banco Mundial, Colombia tiene la mayor recurrencia de eventos extremos de América del Sur:

El 84 % de la población y el 86 % de sus activos están en áreas expuestas a dos o más amenazas. El rápido crecimiento de la población en áreas urbanas mal planificadas, asentamientos informales y áreas costeras densamente pobladas, junto con los efectos del cambio climático, ya están exacerbando las inundaciones y los deslizamientos de tierra en el país. (Banco Mundial, 2021)

Junto con lo anterior, alrededor de 18 millones de personas en Colombia se asientan en zonas con condiciones muy críticas con relación a amenazas hidrometeorológicas (DNP, 2019).

Figura 1. Distribución del área amenazada departamental por tipo de fenómeno



Fuente: DNP (2019)

De igual modo, en cuanto atañe a las particularidades de cada uno de los fenómenos hidrometeorológicos de interés, resulta importante mencionar que 12,4 millones de hectáreas en el país pueden presentar avenidas torrenciales muy altas (DNP, 2019). De igual modo, según el Índice Municipal de Riesgo de Desastres del DNP, 10,2 millones de hectáreas se inundan de manera periódica, y 900 000 hectáreas se inundan adicionalmente cuando ocurre el fenómeno de La Niña en el país (DNP, 2019). Además, cabe mencionar que los movimientos en masa se presentan ante todo en la región Andina del país, y en 11,7 millones de hectáreas que tienen una susceptibilidad mayor a ese tipo de evento (DNP, 2019).

Asimismo, los fenómenos hidrometeorológicos ocasionan graves daños en la productividad de distintos sectores de la economía nacional. De tal modo, siendo caracterizado por un aumento en la precipitación y las lluvias, el fenómeno de La Niña ocasionó entre 2010 y 2011

pérdidas totales debidas a inundaciones en las actividades pecuaria, avicultura, acuicultura e infraestructura en finca valoradas en \$ 759 893 millones de pesos . . . [.] daños en infraestructura de agua potable y saneamiento básico por \$ 525 867 millones de pesos; pérdidas en el sector de transporte de \$ 3,4 billones de pesos por daños en la infraestructura. (PNACC, 2016, p. 14)

En cuanto al comportamiento de fenómenos de cambio climático en Colombia, se puede aludir como un ejemplo al periodo comprendido entre el 2008 y el 2018. Durante aquellos años, se experimentaron cuatro fenómenos de La Niña, correspondientes a excesos de precipitaciones, de modo que “en los meses más intensos de La Niña, entre 200 y 400 municipios experimentaron excesos de lluvia” (Tovar, 2021).

En ese contexto, las anteriores cifras son de especial relevancia, pues se ha demostrado que el cambio climático afecta de manera diferencial a la población, debido a condiciones de vulnerabilidad como la pobreza. De tal modo, el problema afecta más a las poblaciones vulnerables de Colombia, dentro de las que sobresalen comunidades indígenas, así como poblaciones y mujeres rurales. En particular, las mujeres tienen una mayor vulnerabilidad ante las amenazas vividas tras desastres naturales por efecto del cambio climático, como consecuencias del escaso control de recursos financieros, así como por las diferencias en las formas de acceso a estos (MinAgricultura, 2021). Aquello se da en consonancia con estudios internacionales como los del Banco Mundial (2016), los cuales sostienen que, a menos de que se implementen planes de desarrollo informados climáticamente, el cambio climático puede empujar a la pobreza a más de 100 millones de personas para el año 2030.

2.3 Contexto político

En cuanto atañe al entorno político abordado, el riesgo por fenómenos de variabilidad climática y cambio climático se enmarca en un contexto en el que el país se ha preparado a

nivel nacional para adaptarse al cambio climático y a sus retos. Aquello se ha dado por medio de instrumentos como la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) y la Estrategia Colombiana de Largo Plazo (Estrategia 2050), junto con el Plan Nacional de Adaptación de Cambio Climático (PNACC) y las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés). De igual manera, se ha formulado lo que compete a diversos Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales⁷ (PIGCC Territoriales), con el fin de hacerles frente a los efectos del cambio climático.

En ese marco, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático tiene como objetivo “reducir el riesgo y los impactos socioeconómicos y ecosistémicos asociados a la variabilidad y al cambio climático en Colombia” (PNACC, 2016, p. 11). De tal modo, este reconoce que “de aumentarse la inversión pública en la materia al 1 % del gasto público actual, se esperaría que la tasa de desastres se redujera en un 60 %” (PNACC, 2016B, p. 11). Además, la Estrategia 2050 es por su parte un instrumento de política de Estado, y conforma un ejercicio de planificación de largo plazo que tiene como objetivo orientar acciones nacionales, sectoriales y territoriales, para dar lugar a un futuro resiliente con relación al clima (MinAmbiente, 2022). Asimismo, esta indica que, en el contexto del fortalecimiento de la adaptación y la reducción del riesgo por el cambio climático, el país “deberá reducir la vulnerabilidad de sus municipios y departamentos a categorías bajo o muy bajo . . . [,] y deberá reducir los daños y pérdidas causados por cambio climático con un enfoque territorial integral y multisectorial” (MinAmbiente, 2022, p. 40). Asimismo, la Política Nacional de Cambio Climático tiene como objetivo “incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que este genera” (MinAmbiente, 2017, p. 15).

De igual manera, en el marco de la política pública en Colombia, es posible encontrar instrumentos tales como los Planes Municipales de Gestión del Riesgo. En ese escenario, estos son concebidos como un “instrumento dinámico que ordena prioridades municipales concretas, con relación a las condiciones de riesgo, y [con ellos se] canaliza[n] estas acciones

⁷ “Instrumentos a través de los cuales las gobernaciones y las autoridades ambientales regionales partiendo del análisis de vulnerabilidad e inventario de GEL regionales, u otros instrumentos, identifican, evalúan, priorizan, y definen medidas y acciones de adaptación y de mitigación de emisiones de gases efecto invernadero, para ser implementados en el territorio para el cual han sido formulados” (Congreso de la República, 2018).

para ser ejecutadas en diferentes ámbitos como el ordenamiento territorial, la planificación del desarrollo y el desempeño institucional” (Banco Mundial y UNGRD, 2012, p. 10).

En tal escenario, lo expuesto muestra cómo los diferentes instrumentos de política pública han incorporado el riesgo de cambio y variabilidad climática como una sola constante dentro de sus objetivos de política. Asimismo, vale la pena mencionar que no hay estudios que indiquen a qué nivel se ha incorporado el riesgo por cambio climático en las decisiones políticas. Estas solo suelen mencionar dentro de sus objetivos y líneas estratégicas tal componente, pero no hay un estudio que muestre el estado de avance de dichas políticas.

3. Marco teórico

La teoría sobre el efecto de eventos hidrometeorológicos sobre la economía se puede dividir en tres vertientes. Por una parte, se encuentra la originada por Joseph Alois Schumpeter (1883-1950). Esta sostiene que, con posterioridad a un desastre, habría efectos en factores como el trabajo y el capital; sin embargo, debido a las fuerzas de la *destrucción creativa*, el país o municipio afectado eventualmente incrementarían su crecimiento económico y su productividad. En ese marco, cabe aclarar que esta vertiente argumenta en general que hay una correlación entre la frecuencia de eventos hidrometeorológicos y el crecimiento económico del largo plazo, al controlar otras variables (Crespo et al., 2019). Acorde con dichos autores, este crecimiento económico en el largo plazo tiene su explicación en una actualización del stock de capital, y en diferentes tecnologías. Además, se daría en países que ya se encuentran en una etapa de desarrollo avanzada, los cuales pueden beneficiarse de una mejora en su capital por medio del comercio.

Por otra parte, se observa una corriente teórica la cual indica que los eventos materializados en desastres traerán consigo efectos negativos para el crecimiento económico de un país:

el efecto inmediato de un desastre natural es la destrucción o daño del inventario de capital, 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. (DNP y BID, 2014, p. 114)

En este orden de ideas, en la medida en que los eventos hidrometeorológicos afecten la infraestructura física de los municipios, sus recursos naturales y el capital humano —lo cual tiene efectos a su vez en la productividad agrícola—, la expectativa es que el crecimiento económico municipal se vea alterado de forma negativa.

Además, hay una serie de mecanismos acorde con los cuales el acaecimiento de eventos hidrometeorológicos como inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales podría afectar el crecimiento económico municipal en Colombia. En ese sentido, tanto las inundaciones como los deslizamientos en áreas de producción ganadera podrían afectar la capacidad del ganado para aumentar de peso o alimentarse, e inclusive pueden ocasionar la muerte de varios ejemplares. Al respecto, el DNP y el BID (2014) estiman que la producción del sector de ganadería “se reduciría entre el 0,8 % y el 0,9 % de forma anual durante el periodo 2010-2100” (p. 87), mientras que para el sector agrícola se estima un impacto negativo de entre el 1,9 % y el 2,8 % para el mismo periodo anteriormente mencionado. Por ende, se podría esperar un efecto negativo sobre los municipios cuya economía dependa principalmente de la agricultura y la ganadería.

Asimismo, inundaciones y deslizamientos pueden acarrear cierres viales que ocasionarían pérdidas en el sector del transporte. Al respecto, el DNP y el BID (2014) indican que el 34,9 %⁸ de la red vial primaria se encuentra ubicada en una zona de amenaza alta ante remociones en masa, de modo que “se esperaría que por efectos del clima la red vial primaria no esté disponible entre un 7,6 % y un 4,2 % del tiempo” (p. 82) en los distintos escenarios del cambio climático (ver anexo 1). Si bien este análisis fue desarrollado a nivel departamental, se esperaría que los municipios afectados en mayor medida en debido a cierres viales también fueran los ubicados en las cordilleras central y occidental. Estos serían los pertenecientes a los departamentos de Quindío, Nariño y Risaralda entre otros.

En ese contexto, las inundaciones, los deslizamientos y las avenidas torrenciales también pueden afectar la economía subnacional, con los daños que estos producen en los activos físicos y el acervo de capital. De tal modo, se estima que las pérdidas evidenciadas

⁸ El DNP (2021) actualiza esta cifra al 39 % de la red vial con altos niveles de exposición.

en el fenómeno de La Niña en el 2010 y el 2011 ascendieron a los 11,2 billones de pesos (DNP y BID, 2014).

A su vez, la tercera corriente afirma que hay una relación de doble vía entre los desastres ocasionados por eventos hidrometeorológicos y el crecimiento económico. Según dicha relación de doble vía, el desarrollo económico puede determinar los niveles de riesgo del desastre, al mismo tiempo que el fenómeno hidrometeorológico puede afectar negativamente el crecimiento económico. Asimismo, en cuanto a la primera relación que sustentan las regresiones municipales desarrolladas por el DNP y el BID (2014), se evidencia que en el grado en que los niveles de PIB per cápita sean mayores, hay menores tasas de desastres. De igual manera, en cuanto respecta a la segunda relación, esta se evidenciará en la revisión de literatura nacional e internacional.

4. Revisión de literatura

4.1 Revisión de literatura internacional

Al momento de abordar el problema en cuestión a nivel internacional, observamos que se han estimado los impactos económicos de los daños generados por los fenómenos descritos sobre las economías nacionales (Mediodía, 2013). Sin embargo, no se han documentado las maneras como esto puede afectar el crecimiento económico subnacional. De tal modo, Mediodía estudia en su investigación (2013) el impacto del cambio climático en el PIB de catorce países en Asia, lo cual adelanta por medio de un modelo panel con efectos fijos. En consecuencia, Mediodía (2013) observa que hay un efecto positivo en el crecimiento del PIB per cápita, por el acaecimiento de inundaciones. De tal forma, lo así expuesto parece estar alineado con la *teoría de destrucción creativa* mencionada en el apartado que se dedica al marco teórico.

En tanto, la investigación de Grames et al. (2016) aborda una muestra de 442 municipios en Austria, desde el 2009 hasta el 2014. De tal modo, los investigadores observaron que los daños a la infraestructura pública, ocasionados por riesgos que acarrea el cambio climático, tienen un impacto negativo en los balances de renta corriente de los municipios, lo cual indica un debilitamiento de la situación financiera de los municipios (Grames et al., 2016).

Por su parte, Cavallo et al. (2021) estiman el impacto de desastres de origen hidrometeorológico en el crecimiento económico, mediante una metodología de estudio de eventos entre 1970 y 2019, con una base de datos panel de países. Dicho estudio observó que las economías afectadas por desastres naturales sufrían pérdidas económicas en su PIB de entre 2,1 y 3,7 puntos porcentuales en promedio. Además, los resultados evidenciaron que los efectos negativos estimados decrecían en economías más avanzadas.

Al continuar con los estudios que muestran el impacto macroeconómico de los desastres ocasionados por eventos hidrometeorológicos, cabe señalar el estudio de Jaramillo (2009). Este usó un panel de datos de 113 países, en un periodo de tiempo de 36 años, con el fin de entender los efectos de corto y de largo plazo de los desastres naturales en el PIB (Jaramillo, 2009). En ese contexto, uno de los resultados más destacados del estudio radica en que las regresiones realizadas mostraban efectos tanto de corto como de largo plazo de los desastres naturales sobre el Producto Interno Bruto de los países; sin embargo, hacía énfasis además en que dichos efectos dependerían de la frecuencia e intensidad de los desastres. Por ejemplo:

solo el porcentaje acumulado de personas muertas tiene un efecto significativo en el crecimiento del PIB. El efecto es negativo y corresponde a una disminución de aproximadamente un punto porcentual en el crecimiento anual del PIB luego de un aumento de una desviación estándar en la proporción agregada de población muerta. (Jaramillo, 2009, p. 26)

Adicionalmente, en el trabajo de Ashizawa et al. (2022) se observa un análisis de series de tiempo sobre la relación dada entre la cantidad de daños por inundación a activos, y las instalaciones, según como ocurrieron en un año específico “en cada una de las 48 prefecturas de Japón y los cambios en las variables económicas, incluido el PIB a nivel de prefectura, en esa prefectura desde el año de ocurrencia de la inundación hasta dos años después (efectos indirectos)” (p. 3). De tal modo, este estudio encontró un efecto negativo en el Producto Interno Bruto de las prefecturas —que corresponden a las jurisdicciones territoriales en las que está dividido Japón— en las que ocurren inundaciones:

cuando se considera el daño por inundación que asciende al 0,2 % del PIB, el efecto indirecto asociado es una reducción en el nivel del PIB entre -0,01 % y -0,07 % . . . , en comparación con el nivel [del PIB] en ausencia de inundación. (p. 3)

No obstante, los autores sostienen que este efecto no se mantiene en el largo plazo. Asimismo, el estudio evidenció que, en comparación con los daños a los activos de las empresas y los hogares, “los daños a la infraestructura pública, como las carreteras, y a los servicios públicos, como las instalaciones de energía eléctrica, tienden a deprimir el PIB de manera más significativa” (Ashizawa, 2022, p. 4).

En suma, la revisión de literatura adelantada evidencia que no hay resultados homogéneos en cuanto atañe al efecto que tienen los eventos hidrometeorológicos en el crecimiento económico a nivel subnacional. De tal modo, lo anterior obedece a que se cuenta con estudios como los de Mediodía (2013), los cuales encuentran efectos positivos en el PIB per cápita ante los sucesos climáticos señalados; sin embargo, hay también investigaciones que muestran un debilitamiento del estado financiero de los municipios ante tales hechos, y daños que ascienden hasta a 3,7 puntos porcentuales del PIB (Grames et al., 2016; Cavallo, 2021).

4.2 Revisión de literatura nacional

La mayoría de los estudios en Colombia han abordado los impactos económicos de los fenómenos desde una óptica macroeconómica, estimando las pérdidas en las que incurriría cada sector de la economía en caso de que se sigan dando fenómenos hidrometeorológicos sin que se establezcan medidas de adaptación al cambio climático. Sin embargo, no se han abordado los efectos de los fenómenos a nivel municipal. Por ejemplo, el Departamento Nacional de Planeación adelantó una evaluación de impactos económicos de cambio climático en Colombia (DNP y BID, 2014). En este marco, el estudio tomó en cuenta únicamente los siguientes sectores que dependen de la oferta climática: transporte, forestal, pesca, ganadería y agricultura, por medio de un *modelo de equilibrio general*. De tal modo, el DNP y el BID (2014) estiman que, de no ejecutar acción alguna, el impacto macroeconómico del cambio climático se ubicaría en pérdidas anuales de 0,49 % del PIB nacional para el periodo del 2010 al 2100; de tal modo, “al sumar las pérdidas anuales, sin descontar a valor presente, el impacto sería equivalente a perder entre 3,6 y 3,7 veces el valor del PIB de 2010”

(DNP y BID, 2014, p. 10). Otro dato importante que le otorga un aporte a la ya citada publicación del DNP es que en Colombia los desastres de origen climático y sus consecuencias han tenido un impacto en el crecimiento del PIB de largo plazo. Por ejemplo, al estimar el impacto hacia adelante, se encontró que “de 1980 a 2010 aumentos del 20 % en la tasa de muertos, heridos y afectados por desastres de origen climático estuvieron asociados a caídas del PIB de largo plazo de 1,5%” (DNP y BID, 2014, p. 11).

En tanto, estudios como los del Banco de la República, “Blame it on the rain”, hacen uso de las precipitaciones para medir el efecto de las inundaciones en la generación de empleo formal (Bohórquez y Otero, 2020). Dicho estudio combinó registros de seguro social (empleo formal) con datos de estaciones climáticas, para estimar los efectos de los choques en materia de precipitación en el empleo rural formal a nivel municipal, por medio de un modelo de efectos fijos. Además, el estudio evidenció que los episodios de lluvia excesiva —es decir, mayores al percentil 80 del promedio histórico de los últimos 30 años— tienen un impacto negativo en el empleo rural formal, tanto en áreas que dependen netamente de la agricultura como otras áreas, con reducciones desde el 2,2 y 3 % en el empleo, respectivamente (Bohórquez y Otero, 2020). No obstante, este estudio no se enfocó en el efecto de las precipitaciones sobre el crecimiento económico municipal. Aquello es precisamente lo que se busca hacer en la presente investigación al centrar la pesquisa en los eventos hidrometeorológicos de inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales.

De igual manera, el Banco Mundial (2020) ha evidenciado que las inundaciones pueden llegar a tener un efecto negativo que habría correspondido al -2,76 % en el porcentaje del PIB de 2018 en un escenario optimista, y hasta del -3,08 % en un escenario pesimista. Asimismo, los anteriores resultados contemplan los efectos ocasionados por la contracción del empleo debido a las lluvias, los costos de inundación, la carga de enfermedades, y la reducción del ingreso agrícola.

A su vez, con apoyo del BID, el Departamento Nacional de Planeación desarrolló en 2015 una publicación enfocada en lo que describe parte de su título: “Costos económicos de los eventos extremos” (2015). En efecto, parte de dicho estudio se enfocó en hacer uso de regresiones departamentales, así como de regresiones con un panel de datos municipal. Así, estas incorporan además desastres naturales promedio, para ver el efecto de los desastres de

origen hidrometeorológico en la economía, y para analizar cuáles son los determinantes de los desastres naturales en Colombia. A su vez, en cuanto a las regresiones departamentales, el BID y el DNP (2015) destacan la importancia de considerar variables como la tasa de desastres, el capital humano representado en la educación departamental —que corresponde a la tasa bruta de matrícula escolar—, y la densidad poblacional, como determinantes del crecimiento económico. De tal modo, en el marco del análisis departamental, el BID y el DNP (2015) señalan que “si la tasa de desastres [se] incrementara en un 1 %, el crecimiento quinquenal [departamental] caería en 0,0255 %” (p. 24). Además, “un incremento permanente en la [proporción de muertos, desaparecidos, heridos y afectados] en un 20 %, genera una caída en el PIB per cápita del largo plazo de 1,5 %” (BID y el DNP, 2015, p. 24). Asimismo, los análisis municipales desarrollados desde el DNP permitieron observar que “si la población en zona de riesgo se redujera en un 20%, la tasa de desastres de viviendas afectadas caería en un 3 % y la [proporción de muertos, desaparecidos, heridos y afectados] se reduciría en un 4,5 %” (BID & DNP, 2015).

Cabe destacar que la mayoría de estudios revisados, tanto en la sección de literatura nacional como en la internacional, hacían uso de la metodología de *two way fixed effects* o de metodologías como *estudios de evento* para hacer sus análisis. Asimismo, no se encontró ninguna que implementara la última metodología de *diferencias en diferencias dinámicas*, que desarrollaron de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022B).

De igual manera, es pertinente mencionar que la ausencia de datos a nivel municipal configura un vacío en la literatura colombiana, pues limita el análisis y la formulación de políticas públicas en materia de cambio climático. Asimismo, es relevante estudiar los impactos dados a nivel municipal, teniendo en cuenta la coyuntura en la que se están terminando de formular PIGCCS territoriales. En ese contexto, las diferentes alcaldías municipales pueden planear cómo atender emergencias climáticas, para posteriormente formular e implementar políticas públicas de adaptación al cambio climático de los sectores que son sus fuentes de recursos.

Además, delimitar el impacto que el cambio climático —manifestado en fenómenos hidrometeorológicos— tiene sobre el crecimiento económico municipal, es relevante en la medida en que esto puede potencializar e incentivar los proyectos gubernamentales locales

que se encaminan hacia la adaptación del cambio climático. De igual modo, el enfoque municipal permitirá capturar la variación subnacional del efecto de fenómenos hidrometeorológicos que generalmente puede ser omitido por los estudios macroeconómicos, así como por los estudios que se enfocan únicamente en los impactos de los eventos en determinados sectores de la economía.

En la medida en que los tomadores de decisión de los municipios sean conscientes del impacto monetario que el cambio y la variabilidad climática tienen en sus finanzas públicas, se espera que tomen acción para evitar pérdidas en el futuro. Aquello se debe dar por medio de políticas públicas municipales que se acoplen y complementen con las políticas nacionales que ya se han puesto en marcha, como la Política Nacional de Cambio Climático.

5. Estrategia empírica

5.1 Descripción general de los datos

Se utilizaron de las bases de datos de la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD), que reporta la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos por municipio para un año determinado. Se aloja información sobre el número de eventos que hubo en los municipios y su impacto sobre la infraestructura, que corresponde a viviendas destruidas y averiadas, centros de salud y centros educativos afectados. Incluye número de afectados, de muertos y heridos. Tal información puede ser utilizada en análisis posteriores para observar la intensidad del tratamiento.

En suma, estas bases de datos contienen diferentes muestras a nivel municipal. De tal modo, los datos disponibles de municipios por año para eventos hidrometeorológicos varían de la siguiente manera:

Tabla 1. Número de observaciones por año para las bases de datos de emergencias de la Unidad Nacional de Riesgo de Desastres (UNGRD)⁹

Año	Tamaño de la muestra	Año	Tamaño de la muestra	Año	Tamaño de la muestra
2020	1084	2016	812	2012	860
2019	730	2015	794	2011	862
2018	698	2014	788	2010	921
2017	778	2013	822		

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la UNGRD (2022)

⁹ Se asume que los municipios con datos faltantes no tuvieron eventos hidrometeorológicos.

De tal modo, en la anterior tabla se observa que las distintas muestras oscilan entre 698 y 921 observaciones. En ese escenario, la variación de los datos tiene su explicación en que no todos los municipios reportaron haber presenciado desastres de estos tipos ante la Unidad Nacional de Riesgo de Desastres (UNGRD). Es importante tener en cuenta que la muestra está compuesta por los municipios que reportan los eventos hidrometeorológicos ante la UNGRD, algunas veces apoyados por el cuerpo de bomberos o el primer respondiente. En ese sentido, puede llegar a haber un subreporte de municipios dentro de la muestra, en la medida en que puede haber eventos no reportados por o ante la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres.

En el marco de la investigación, se cruzaron diez bases de datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) del 2011 hasta el 2020. Asimismo, se crearon variables que permitieron identificar la totalidad de eventos hidrometeorológicos que sufrió cada municipio en cada uno de los años y las variables dummy, las cuales indican si el municipio tuvo o no por lo menos uno de los eventos de interés. De tal modo, dentro de los eventos hidrometeorológicos contenidos en las bases de datos, se pueden encontrar variables como inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales. En ese marco, aquellas son variables cuantitativas discretas que se registran en la base de datos, como el número de veces que sucedieron dichos eventos en el municipio por cada periodo de tiempo. En particular, la inclusión de variables como inundaciones se sustenta en estudios como el de Mediodía (2013). En dicho contexto, se utiliza la variable para evaluar y comparar el impacto de eventos de este tipo en el crecimiento económico en el Sudeste asiático.

Adicionalmente, se hizo uso de los datos del valor agregado derivados del trabajo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2021). Cabe señalar que estos datos se encuentran disponibles para los años que abarcan del 2011 al 2020, para 1122 municipios. A su vez, los datos del *valor agregado* representan la dimensión del crecimiento económico, y pueden ser utilizados como una variable proxy para medir el crecimiento económico municipal. Aquella es una variable cuantitativa continua que se mide en miles de millones de pesos, y será entonces la variable dependiente de la investigación¹⁰.

¹⁰ La variable contemplada adentro de la base de datos que se utilizó se implementa en valores corrientes.

De tal modo, dicho aspecto corresponde a una variable proxy de crecimiento económico, en la medida en que refleja la participación y el excedente económico de producción que le aporta cada municipio al departamento. En esa medida, el valor agregado es definido como el valor de la producción menos el valor de consumo intermedio (DANE, 2014). Asimismo, se puede ver como “el mayor valor creado en el proceso de producción por efecto de la combinación de factores. Se obtiene como diferencia entre el valor de la producción bruta y los consumos intermedios empleados” (DANE, 2022A). No obstante, una de las desventajas de hacer uso del valor agregado en lugar del PIB o PIB per cápita, es que este deja por fuera el factor inflacionario. Asimismo, de acuerdo con el Banco de la República (2023), el PIB se calcula con base en la suma del valor agregado y los impuestos, menos las subvenciones a los productos. En ese orden de ideas, al hacer uso únicamente del valor agregado, no se estaría teniendo en cuenta el componente de impuestos y subvenciones.

Por último, se utiliza la base de datos del Ideam et al. (2017), la cual contiene el análisis de riesgo y vulnerabilidad ante el cambio climático. En ella, se aloja la variable denominada *riesgo*, la cual hace referencia al riesgo por cambio climático a la que están expuestos los municipios. En efecto, aquella es una variable cuantitativa que toma valores entre 0 y 1, de modo que con ello se origina un valor constante, a partir de las observaciones que hizo el Ideam para su estudio publicado en el 2017, junto con otras organizaciones. En ese contexto, el grado en que el valor de la variable sea más cercano a 1, significa que el municipio cuenta con mayor riesgo de verse afectado por el cambio climático. Vale la pena mencionar además que el riesgo por cambio climático, como está definido por el Ideam et al. (2017), se deriva del producto hecho entre el indicador de la *amenaza* y el de la *vulnerabilidad al cambio climático*. Cabe recordar asimismo que, tal como se mencionó en el apartado que se dedica al contexto, dicha *vulnerabilidad* es entendida como la propensión a ser afectados negativamente por el cambio climático, y se define como el cociente entre la sensibilidad y la capacidad adaptativa (Ideam et al., 2017). Por otra parte, es importante recordar que la amenaza climática atañe a la amenaza de un potencial acaecimiento de eventos de cambio climático que pueden tener un impacto físico, social, económico y ambiental en una zona determinada. Además, se utilizó el Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado según las capacidades respectivas del DNP (2019).

En ese contexto, las anteriores variables se utilizaron principalmente para nutrir el análisis de estadísticas descriptivas del trabajo.

5.2 Estadísticas descriptivas

5.2.1 Riesgo por cambio climático y riesgo de desastres ajustado según las capacidades

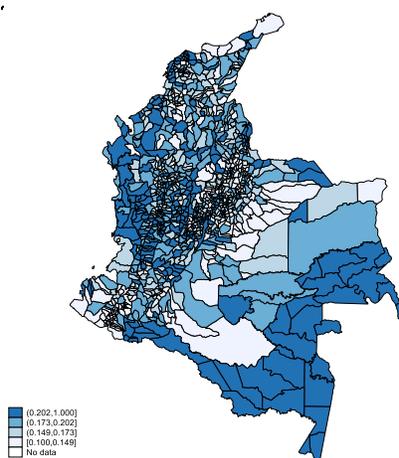
Tabla 2. Estadísticas descriptivas del riesgo por cambio climático

Variable	Observaciones.	Promedio	Desviación estándar	Mín.	Máx.
Riesgo	1122	0,1878562	0,0713987	0,1	1

Fuente: elaboración propia a partir de Ideam et al. (2017)

En el marco abordado, esta tabla muestra que el promedio de riesgo por cambio climático municipal se sitúa en 0,18 puntos. No obstante, dicho promedio esconde una variación regional importante, la cual se muestra en el mapa 1. De tal modo, esta evidencia la variación del índice a nivel municipal, donde en color azul oscuro se ubican los municipios con mayor riesgo por cambio climático, mientras que los municipios con menor riesgo por cambio climático presentan una tonalidad blanca. Asimismo, el mapa evidencia altos promedios de riesgo municipal por departamento para Amazonas, Guainía, Vaupés, y San Andrés y Providencia.

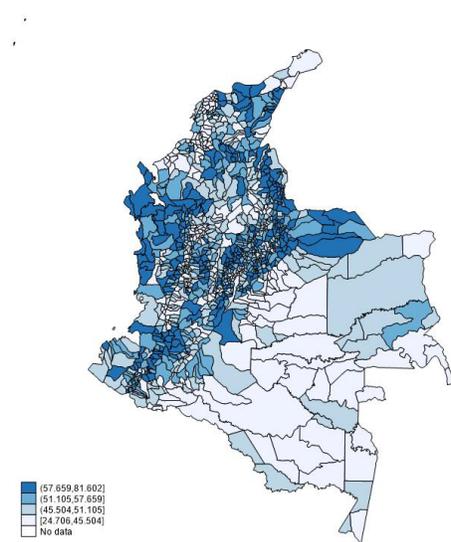
Mapa 1. Índice de Riesgo por Cambio Climático desarrollado por el Ideam en 2017



Fuente: elaboración propia a partir de Ideam (2017)

Asimismo, vale la pena tener presente el comportamiento del Índice de Riesgo Ajustado por Capacidades desarrollado por el DNP. En tal marco, este identifica los municipios con una mayor proporción de habitantes vulnerables y expuestos a amenazas de orden hidroclimático. Aquello se observa en el mapa 2. Además, se evidencia que los mayores riesgos se concentran en la región Andina, y no tanto en la Amazonía y Orinoquía, como lo mostraba el mapa 1. Aquello tiene su explicación en la diferencia poblacional que hay entre estas zonas.

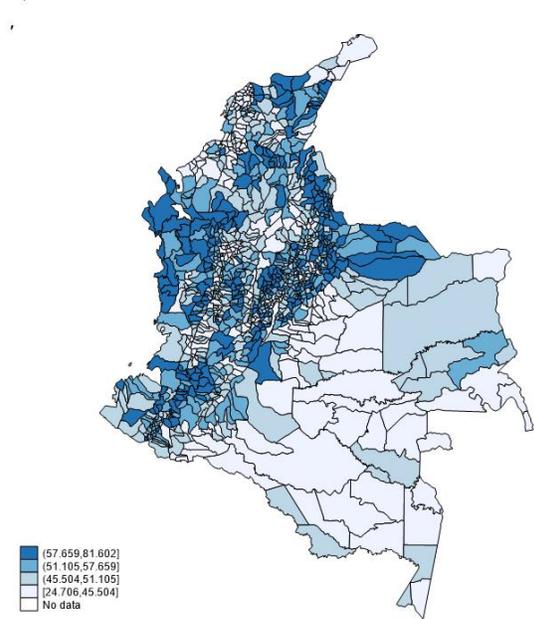
Mapa 2. Índice de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades desarrollado por el DNP en el 2019



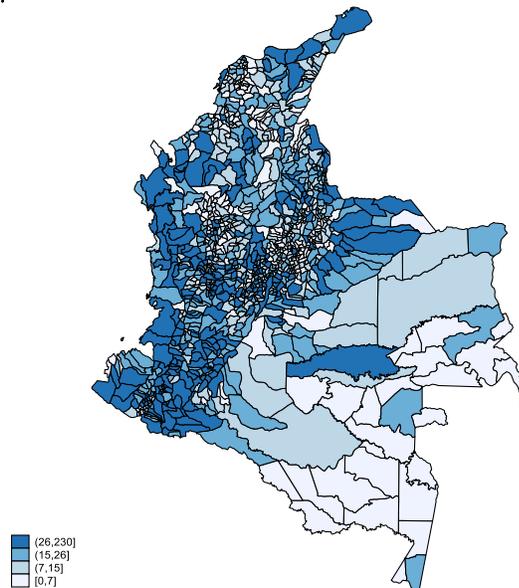
Fuente: elaboración propia a partir de DNP (2019)

En este contexto, resulta valiosa una comparación entre lo que evidenciaba el Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades, y los eventos que en efecto se reportaron de manera acumulada hasta el 2020 (mapas 3 y 4).

Mapa 3. Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades en el 2019



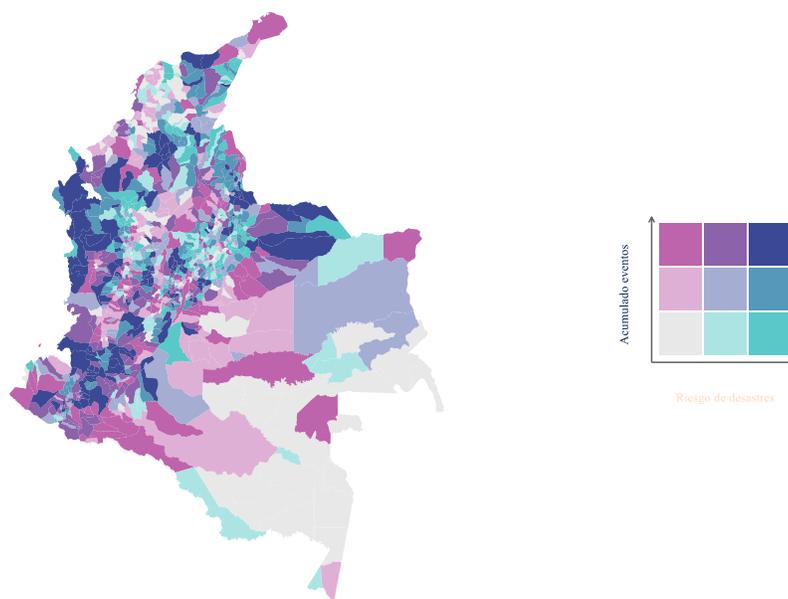
Mapa 4. Eventos hidrometeorológicos acumulados al 2020



Fuentes: elaboraciones propias a partir de DNP (2019) y UNGRD (2022)

De tal modo, al comparar ambos mapas se observa a primera vista una correspondencia entre lo que evidenciaba el índice en el 2019, y el acumulado de eventos hidrometeorológicos que tuvieron lugar en los municipios del país. Asimismo, se observan casos como los de municipios como Uribia en La Guajira, San José del Guaviare en el Departamento de Guaviare, y Leticia en el Amazonas, donde se registraron de manera acumulada a 2020 más eventos que los que según el DNP (2019) se esperaba que se reportaran. En efecto, esta comparación entre los eventos acumulados y el Índice de Riesgo Ajustado por Capacidades se puede ver de manera más clara mediante el siguiente mapa de correlaciones.

Mapa 5. Correlaciones entre el acumulado de eventos hidrometeorológicos y el Índice de Riesgo de Desastre Ajustado por Capacidades

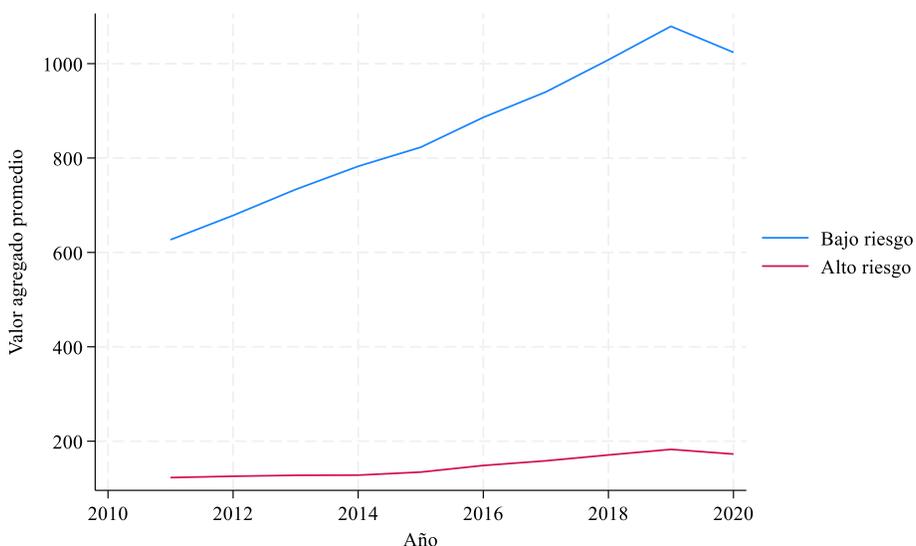


Fuentes: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

En efecto, este mapa de correlaciones muestra en rosado oscuro aquellos municipios que tuvieron un alto número de eventos hidrometeorológicos acumulados hasta el 2020, pero cuyo Índice de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades era bajo. Asimismo, en celeste oscuro se ubican los municipios con un alto Índice de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades, pero que no experimentaron grandes cantidades de eventos acumulados al 2020. En paralelo, los municipios en color azul oscuro representan aquellos territorios en donde el DNP (2019) identificó mayor riesgo de desastres, y en los que efectivamente se dieron muchos eventos hidrometeorológicos. En consecuencia, se puede evidenciar que no hay una correlación exacta entre el indicador y los hechos ocurridos en el periodo de estudio. No obstante, el índice permite una aproximación a lo que ocurrió en la mayoría de los municipios. De tal modo, al adelantar una prueba de correlación, se identifica una correlación de $-0,0342$ entre ambas variables. Dicha correlación fue estadísticamente significativa.

5.2.3 Valor agregado

Figura 1. Valor agregado municipal promedio según Índice de Riesgo de Desastre Ajustado por Capacidades



Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2021) y DNP (2019)

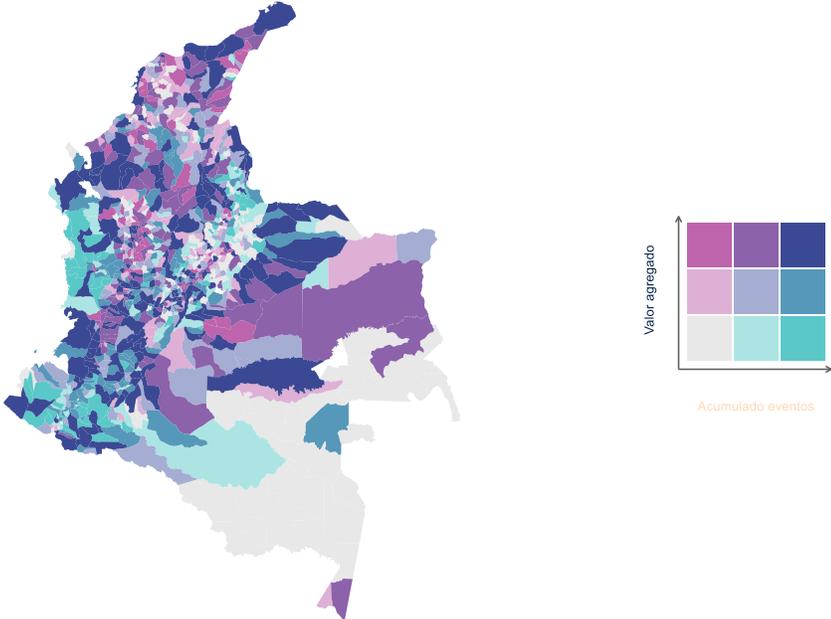
A su vez, la figura 1 muestra el *valor agregado municipal promedio* —medido en miles de millones— a lo largo de los años, separado para los municipios con altos y bajos niveles de riesgo. En general, esta variable muestra un comportamiento creciente con relación al tiempo. Asimismo, al observar la forma como se comportó el valor agregado municipal dependiendo de su índice de riesgos ajustado por capacidades, se evidencia que los municipios con un alto índice de riesgo¹¹ ajustado por capacidades, tienen menores niveles de valor agregado, a comparación de aquellos municipios con un bajo índice de riesgo. Adicionalmente, se observa que estos municipios con niveles más bajos de riesgo tienen un mayor crecimiento en el valor agregado a lo largo del tiempo, mientras que el aumento entre los municipios de alto riesgo es mucho más moderado.

Por su parte, el mapa 6 muestra la correlación dada entre el valor agregado municipal y el acumulado de eventos hidrometeorológicos. Particularmente, al ejecutar el test de correlación se evidencia una correlación positiva de 0,4826, estadísticamente significativa.

¹¹ Se definieron como de *alto riesgo* aquellos municipios cuyo índice de riesgo de desastre ajustado por capacidades se encuentra por encima del percentil 75 registrado por el Departamento Nacional de Planeación. Cabe mencionar que dentro del componente de capacidades municipales que recoge el índice del DNP, se encuentran aspectos relacionados con la gestión, la inversión y los recursos que tienen los municipios; por tanto, el valor agregado podría estar contenido en dichos aspectos.

De tal modo, en este mapa se muestran en color azul aguamarina oscuro los municipios que registraron varios eventos hidrometeorológicos, pero cuyo valor agregado era más bajo. Asimismo, el mapa relaciona en color rosado oscuro aquellos municipios que cuentan con un valor agregado alto y que no registraron la ocurrencia de tantos eventos hidrometeorológicos. Finalmente, en color azul oscuro se ven aquellos municipios que cuentan tanto con un valor agregado alto como con una alta frecuencia de inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales.

Mapa 6. Correlaciones entre el acumulado de eventos hidrometeorológicos y el valor agregado municipal



Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022) y DANE (2021).

5.2.4 Fenómenos hidrometeorológicos

A continuación, se presentarán estadísticas descriptivas de los fenómenos hidrometeorológicos de Colombia desde el 2011 hasta el 2020, con el fin de entender la dimensión de cada uno. Dado que la investigación se va a adelantar con datos de 10 periodos (del 2011 al 2020), en la siguiente tabla se observa que el evento con mayor participación son las inundaciones con cerca del 57 % de los eventos.

Tabla 3. Frecuencia de eventos hidrometeorológicos en Colombia para el periodo del 2011 al 2020

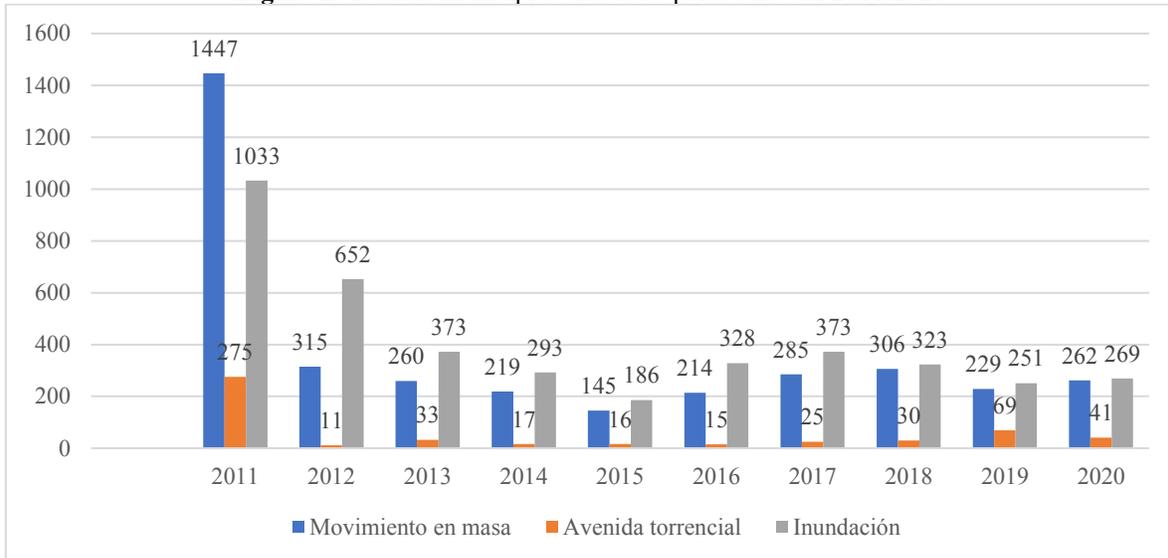
Evento	Frecuencia	Porcentaje
Avenida torrencial	116	2 %
Inundación	3261	57 %
Movimiento en masa	1979	35 %
Total	5693	100 %

Fuente: elaboración propia a partir de UNGR (2022)

Asimismo, la figura 2 muestra el comportamiento de los eventos para todos los años. De tal modo, se puede observar cómo el fenómeno hidrometeorológico que más eventos registra a lo largo de los años corresponde a las inundaciones, seguidas de los deslizamientos. En ese sentido, llama la atención el que haya una tendencia decreciente hasta el 2015 de ambos eventos, y que a partir de ese año vuelva a incrementarse la ocurrencia de dichos fenómenos a nivel municipal. En efecto, lo así descrito puede obedecer a la expedición de la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres, y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; mecanismo que indica que la gestión del riesgo de desastres es un “proceso social orientado a la formulación, ejecución y seguimiento de políticas para el conocimiento, la reducción del riesgo y el manejo de desastres” (Congreso de la República, 2012).

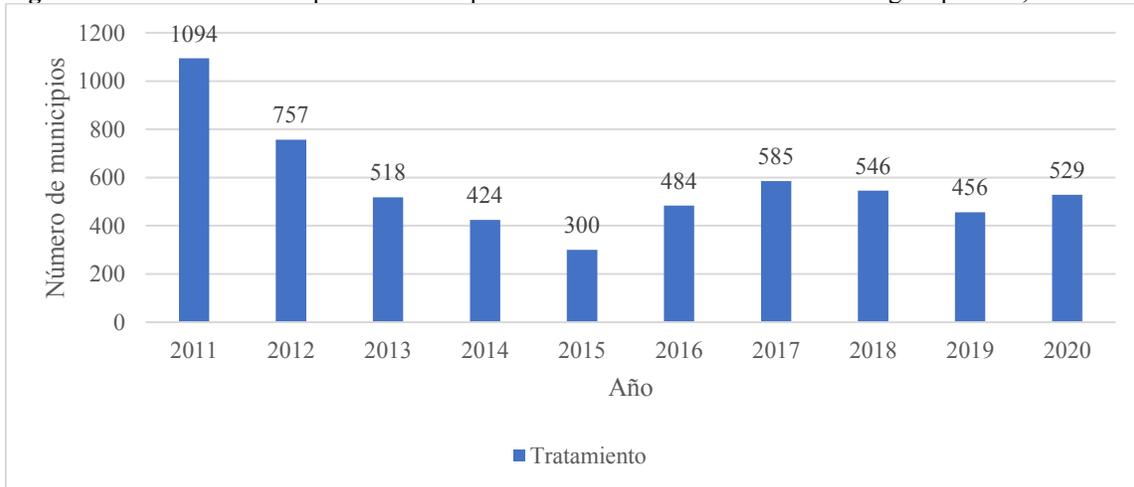
En efecto, la Ley desarrolló mecanismos que suponían un mayor rigor en cuanto a cómo se gestiona el riesgo de desastres y a cómo estos se reportaban. Posiblemente, esto puede explicar la caída en el reporte de todas las categorías. Asimismo, otra razón del comportamiento decreciente a partir del 2011 puede corresponder a los fenómenos de El Niño declarados en periodos posteriores.

Figura 2. Total de municipios afectados por evento del 2011-2020



Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

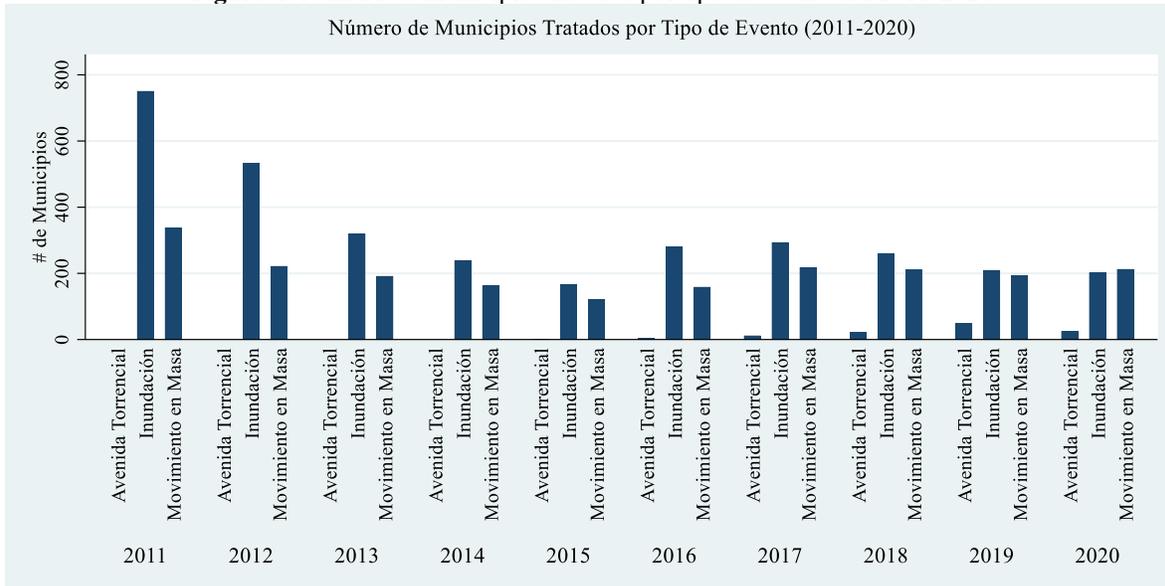
Figura 3. Número de municipios afectados por al menos un evento hidrometeorológico por año, 2011-2020



Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

De tal modo, la anterior gráfica evidencia la variación dada en el número de municipios que se ven afectados por eventos hidrometeorológicos entre el 2011 y el 2020. En particular, se muestra cómo en el 2011 la mayoría de los municipios de Colombia reportaron tener al menos un evento hidrometeorológico. Lo anterior obedece a que en este año el país atravesó por la peor crisis de lluvias registrada hasta ahora. De ahí en adelante, la figura evidencia cómo solo aproximadamente la mitad de los municipios reportan tener un evento por año. Además, para algunos de los modelos, el grupo afectado será el *grupo tratado*, mientras que los municipios no afectados por los eventos serán el *grupo control*.

Figura 4. Número de municipios tratados por tipo de evento del 2011-2020



Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

En paralelo, la anterior gráfica evidencia cómo varía el tratamiento en los municipios según el tipo de evento. En ese orden de ideas, se observa cómo el mayor número de municipios que reciben un tratamiento de eventos hidrometeorológicos son tratados, en su mayoría, en el marco de inundaciones o deslizamientos.

Figura 5. Personas afectadas por eventos hidrometeorológicos del 2011 al 2020

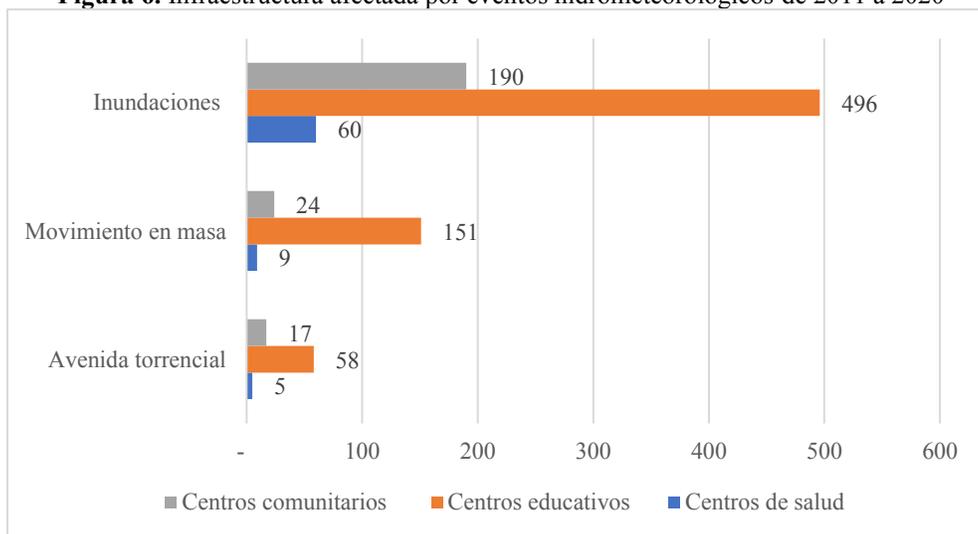


Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

En ese contexto, la figura 5 muestra el número de personas afectadas por eventos hidrometeorológicos en Colombia por año. A su vez, el mayor número de afectados se registró en el 2011, y en él se reportaron cerca de 900 000 mil afectados. En tal escenario, lo descrito tuvo explicación principalmente en la ola invernal de aquel año. Es entonces relevante observar que, a pesar de que la mitad de los municipios fueron afectados, mucho menos de la mitad de la población padeció los efectos descritos.

Asimismo, es importante ver cómo estos eventos afectaron la infraestructura nacional.

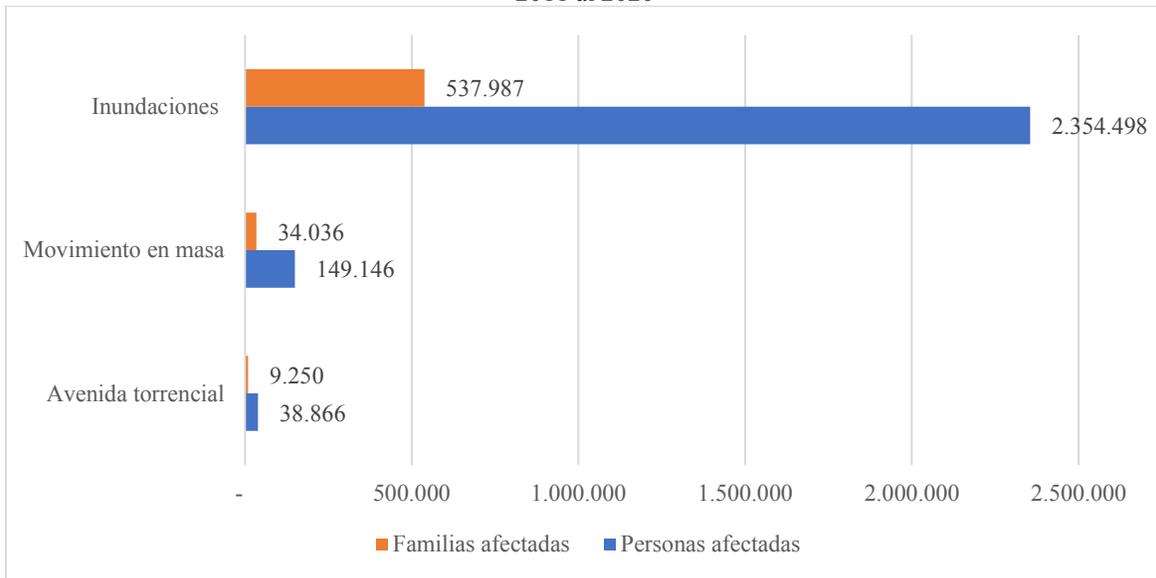
Figura 6. Infraestructura afectada por eventos hidrometeorológicos de 2011 a 2020



Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

De tal modo, la figura 6 muestra cómo los centros de salud, los centros y los ejes comunitarios han sido afectados, según los reportes de la base de datos de la UNGRD (2022). En concordancia, los eventos que más han afectado la infraestructura educativa son las inundaciones, pues han perjudicado a 496 centros educativos. Asimismo, las inundaciones representan el mayor número de daños reportados para centros de salud y comunitarios, con 60 centros de salud y 190 centros comunitarios damnificados como consecuencias de dichos fenómenos en el periodo de entre el 2011 y el 2020. En efecto, las anteriores estadísticas evidencian la magnitud de las consecuencias de los eventos de origen hidrometeorológico sobre el capital físico de los municipios. Como se vio en la revisión de literatura, aquella es una de las variables que se deben tener en cuenta al momento de estudiar los impactos de los eventos hidrometeorológicos aludidos sobre el crecimiento económico local.

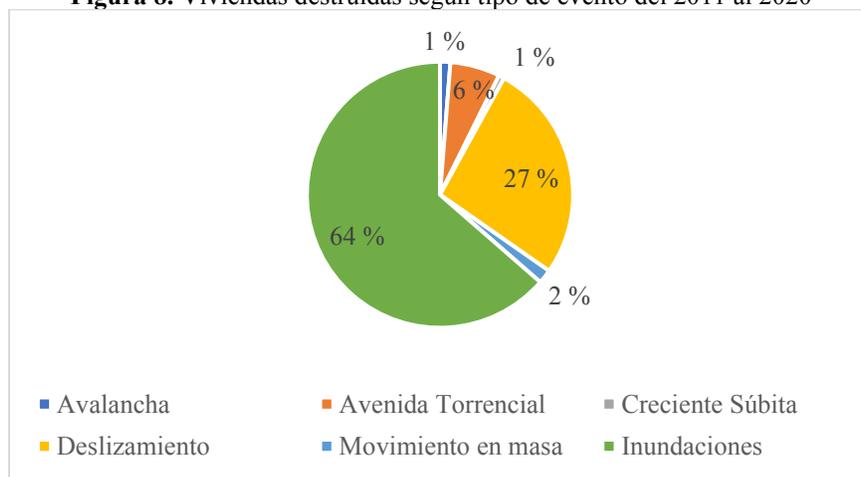
Figura 7. Familias y personas afectadas por inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales del 2011 al 2020



Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

De tal modo, la figura 7 muestra cómo los eventos hidrometeorológicos desencadenaron daños a nivel de las familias y las personas. Asimismo, en el periodo en estudio se reportaron 2 354 498 personas afectadas por inundaciones, equivalentes a 537 986 familias afectadas. Por otra parte, los movimientos en masa representaron cerca de 149 000 personas afectadas, lo cual equivale a 34 036 familias.

Figura 8. Viviendas destruidas según tipo de evento del 2011 al 2020

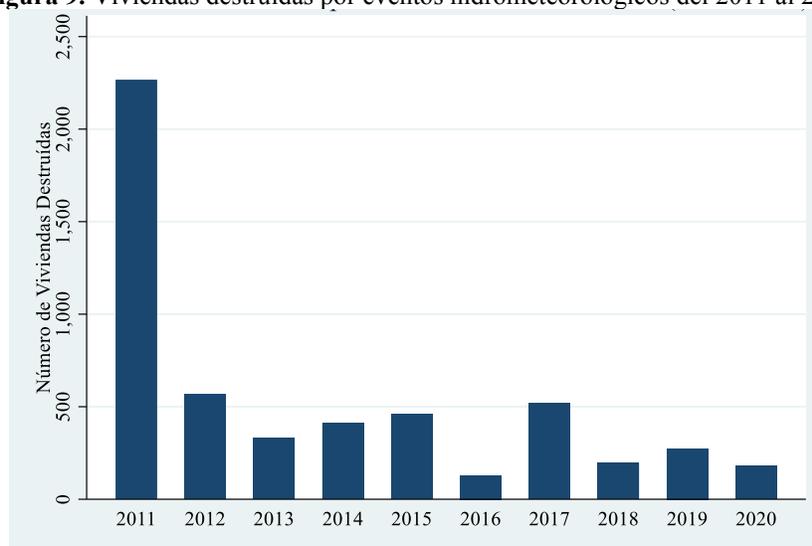


Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

Los datos de la figura 7 son también complementados por los porcentajes la figura 8. En esta, se muestra que el 64 % de las viviendas destruidas, fueron arrasadas como

consecuencia de inundaciones. En segundo lugar, se evidencia que el deslizamiento representó un 27 % de las viviendas destruidas en el país.

Figura 9. Viviendas destruidas por eventos hidrometeorológicos del 2011 al 2020

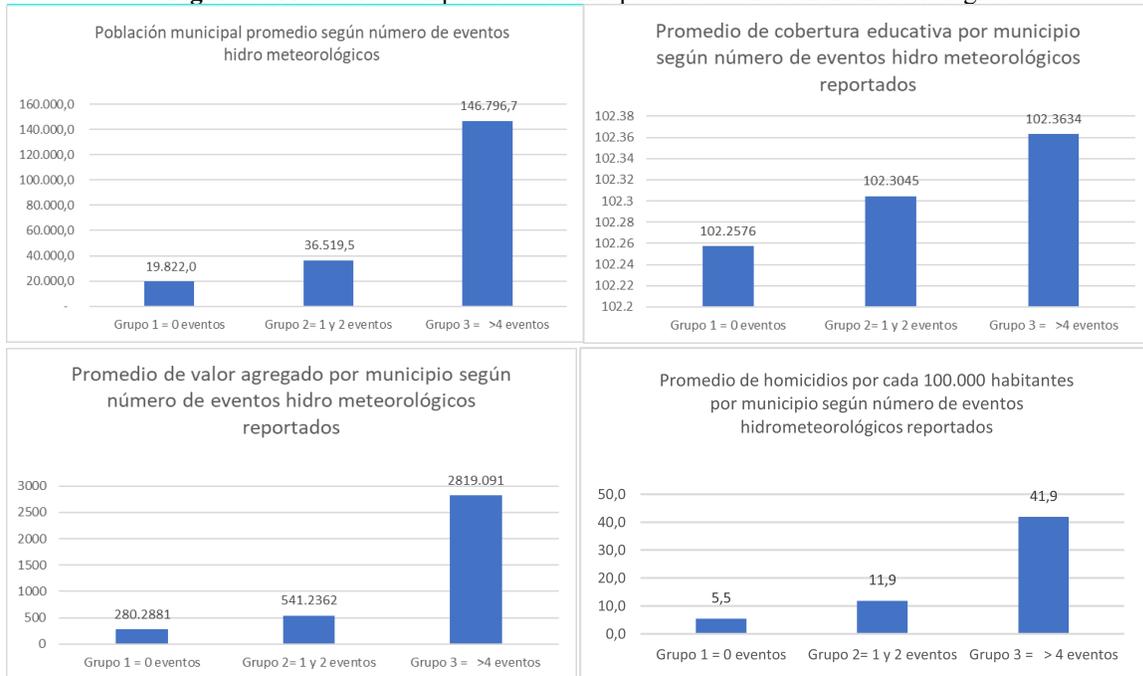


Fuente: elaboración propia a partir de UNGRD (2022)

5.2.5 Caracterización de municipios según el número de eventos hidrometeorológicos

Es importante también entender cómo se comparan los municipios que tuvieron muchos eventos hidrometeorológicos con aquellos que tuvieron pocos, o que no tuvieron ninguno. Con tal propósito, se presentarán a continuación gráficas que permiten dar cuenta de la forma como se comportaban variables como la población, la cobertura educativa, los homicidios y el valor agregado municipal, acordes con el número de eventos que tuvieron lugar en el municipio.

Figura 9. Promedios comparativos municipales de eventos hidrometeorológicos



Fuente: elaboración propia¹²

En ese contexto, las anteriores gráficas sugieren que los municipios con mayor número de eventos hidrometeorológicos en el periodo comprendido entre el 2011 y el 2020, son lugares cuya población promedio es la más alta dentro de los municipios de la muestra, siendo esa proporción cercana a los 146 000 habitantes. Asimismo, dichos municipios se caracterizaron por el mayor número de homicidios por cada 100 000 habitantes, y por tener el mayor valor agregado, de modo que el valor agregado promedio es de \$COP 2819 miles de millones. En efecto, aquello supone que los municipios que no reportaron algún evento hidrometeorológico son los que tienen la población más baja —19 821 habitantes en promedio—, y los municipios con un bajo nivel de valor agregado —en el periodo base de la muestra—.

Aquello podría indicar que los municipios más grandes en términos de población y valor agregado son los más afectados por eventos hidrometeorológicos. No obstante, lo anteriormente expuesto podría tener también explicación de acuerdo con otro mecanismo. Según este, los municipios con un elevado valor agregado tienen recursos que potencialmente

¹² La cobertura bruta en educación se mide como “la relación porcentual entre los alumnos matriculados (independientemente de su edad) y la población escolar que tiene la edad apropiada para cursar dicho nivel” (DANE, 2022B). En ese sentido, puede que dicha variable tenga valores superiores al 100 % en un escenario en el que la mayoría de la población esté cubierta por el sistema, y, además, también se encuentran matriculados alumnos en edad adicional o más avanzada.

les permiten crear más y mejores diagnósticos y reportes de eventos hidrometeorológicos. A su vez, otro de los mecanismos corresponde a la cantidad de elementos expuestos a fenómenos hidrometeorológicos. Es ese sentido, entre más grandes son los municipios —por ejemplo, según su población—, son más susceptibles a tener eventos que afecten su economía. Aunque la metodología propuesta nos va a permitir tener en cuenta dichas diferencias en niveles entre los municipios tratados y los controles, es importante tener en cuenta además las características de los municipios más afectados en la muestra al momento de pensar en la validez externa del estudio.

6. Metodología

Con el objetivo de analizar el efecto de eventos o políticas con relación a una determinada variable de resultado, particularmente cuando un grupo es tratado y otro no, y se tienen datos longitudinales, se han usado tradicionalmente metodologías como *diferencias en diferencias*. Estas se implementan por medio de una especificación de efectos fijos (*two way fixed effects* - TWFE). En ese sentido, las regresiones por medio de TWFE generalmente se plantean de la siguiente manera:

$$Y_{it} = \beta D_{it} + \beta_2 X_{it} + \alpha_i + \rho_t + \varepsilon_{it}. \quad \text{(Ecuación 1)}$$

En donde D_{it} es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si la unidad i es tratada en el periodo t , y toma el valor de 0 en caso contrario. Por otra parte, el componente α_i corresponde a los efectos fijos por municipio, mientras que el componente ρ_t es el ateniendo a los efectos fijos por periodo de tiempo. A su vez, el vector X_{it} corresponde a un vector de variables de control que pueden estar afectando a la variable dependiente, y cuyo valor cambia a lo largo del tiempo, ya que cualquier variable constante se verá reflejada en el efecto fijo del municipio. En tanto, Y_{it} es la variable dependiente para el municipio i en el año t , que para el caso de la presente investigación será el valor agregado municipal.

El proceso descrito se diferencia de la metodología tradicional de *diferencias en diferencias 2x2*. En esta última, las unidades de tratamiento reciben el tratamiento en un mismo, y no en múltiples periodos. Asimismo, de acuerdo con Goodman-Bacon (2021), cuando no todas las unidades son tratadas al mismo tiempo, el estimador β es un promedio

ponderado de todos los posibles estimadores de *diferencias en diferencias de 2x2*. Es decir, es un promedio ponderado de todas las combinaciones de los grupos tratados y los controles.

Sin embargo, en ciertos casos se han identificado algunos problemas al dar uso a esta metodología de TWFE. En ese contexto, de Chaisemartin y D'Haultfoeuille (2022A) muestran que las regresiones con efectos fijos originan estimaciones engañosas, si el efecto de la política es heterogéneo entre grupos, o a lo largo del tiempo. De igual manera, cabe mencionar que frecuentemente varios de los supuestos con los que generalmente cumple un diseño de TWFE, no se cumplen en la práctica. De acuerdo con la literatura y lo indicado por de Chaisemartin y D'Haultfoeuille (2022A), para que un estimador de una regresión TWFE sea insesgado, i) el diseño debe ser *staggered*¹³, ii) el tratamiento debe ser binario y iii) los grupos tratados deben empezar a recibir el tratamiento al mismo tiempo. Asimismo, estos modelos están sujetos al supuesto de tendencias paralelas. Este indica que, en ausencia del tratamiento, los grupos de tratamiento y control hubieran tenido la misma evolución en cuanto atañe a la variable del resultado, en ausencia del evento o de la política que se está evaluando.

Sin embargo, una parte importante de la literatura reciente demuestra que cuando hay diferentes grupos de tratamiento que son tratados en diferentes tiempos, aquello ocasiona que los resultados de las regresiones *two way fixed effects* puedan resultar sesgados (Huntington, 2021). De tal modo, lo anterior está dado en tanto que dicha configuración ocasiona que los grupos ya tratados se utilicen como un grupo de control, lo cual implica que no se cumpla con el *supuesto de las tendencias paralelas*. En la misma línea, Roth et al. (2022) indican que dichas comparaciones prohibidas entre unidades que ya recibieron tratamiento, conducen potencialmente a “inconvenientes, como que los coeficientes TWFE tengan el signo opuesto de todos los efectos de tratamiento a nivel individual debido a problemas de ‘ponderación negativa’” (p. 2).

Asimismo, en años recientes la literatura ha avanzado en modelos que permiten ser robustos ante efectos tanto heterogéneos como dinámicos, y aplicables a modelos *non-*

¹³ Se alude a un tipo de diseño en el que una unidad de análisis permanece tratada a partir del primer momento en el que recibe el tratamiento, y en adelante.

staggered. En ese sentido, el estimador de Chaisemartin y D’Haultfoeuille es uno de ellos. Acorde con este modelo, se da el siguiente procedimiento:

en lugar de imponer un supuesto de tendencias paralelas, la literatura ha propuesto estimadores de efectos instantáneos y dinámicos del tratamiento que pueden aumentar o disminuir con el tiempo bajo el supuesto de ignorabilidad secuencial: en cada período, el tratamiento es independiente de los resultados potenciales actuales o futuros, condicionado a tratamientos y resultados anteriores. (De Chaisemartin y D’Haultfoeuille, 2022B)

En ese orden de ideas, se utilizaron ambas metodologías. A saber, la metodología TWFE tradicional, y el estimador propuesto por de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B). En este contexto, hubo especial énfasis en los resultados obtenidos al emplear esa segunda metodología. Con ello, se busca observar las diferencias que hay en los coeficientes de los resultados, y ver de primera mano cómo el modelo corrige ciertos sesgos del tradicional TWFE.

6.1 Two way fixed effects (TWFE)

Para el uso de la metodología TWFE, se estima la siguiente especificación:

$$Y_m = \gamma_m + \lambda_t + \beta D_{mt} + \epsilon \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde Y_m es el logaritmo del valor agregado en el municipio m , γ_m son los efectos fijos por municipio, λ_t representa los efectos fijos por año, y D_{mt} es una variable de tratamiento para el municipio m en el periodo t .

En tal marco, se estiman cuatro versiones distintas de esta especificación, teniendo en cuenta distintas definiciones del tratamiento (ver tabla 4).

6.2 Estudio de eventos

De igual manera, se utilizó la metodología de *estudio de eventos*, así que se creó una variable centrada en el tiempo de ocurrencia de los eventos hidrometeorológicos. Aquello tuvo el objetivo de mostrar cómo se comportaba la variable de interés en los periodos posteriores y anteriores a un evento en un modelo de diferencias en diferencias. Lo así descrito permite que el efecto varíe en cada periodo de tiempo.

$$Y_{mt} = \theta_m + \alpha_t + \sum_{j \neq -1}^8 \beta_j \cdot 1 [t - E_0 = j] + \varepsilon_{mt}$$

(Ecuación 3)

En donde Y_{mt} es el valor agregado del municipio m en el tiempo t , θ_m son los efectos fijos por municipio, y α_t son los efectos fijos por tiempo. Asimismo, para cada uno de los periodos en los que el municipio estuvo expuesto antes o después de que sucedió el evento, $\sum_{j \neq -1}^8 \beta_j \cdot 1 [t - E_0 = j]$ es la sumatoria de efecto de los diferentes momentos centrados con relación al primer evento.

Vale la pena mencionar que el *estudio de eventos* corresponde a una “ilustración gráfica de las estimaciones puntuales y los intervalos de confianza de la regresión para cada período de tiempo antes y después del período de tratamiento” (Lost-Stats, 2023). Adicionalmente, el estudio del evento permite verificar el supuesto de las tendencias paralelas, por medio de los placebos, que son aquellos coeficientes calculados antes del primer evento. De igual modo, es importante señalar que uno de los supuestos utilizados en el *estudio de eventos* es que el tratamiento se comporta de una manera denominada *absorbing*: una vez tratadas, las unidades de análisis mantienen el tratamiento.

6.3 De Chaisemartin y D’Haultfoeuille

Para la aplicación del modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B), se utilizaron las definiciones de *tratamiento* que se muestran en la tabla 4. Para lo anterior, se partió de siguiente ecuación:

$$Y_{mt} = \gamma_m + \lambda_t + \delta_{ml} D_{mt} + \varepsilon_{mt}. \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde Y_{mt} corresponde al valor agregado del municipio m en el tiempo t . Asimismo, γ_m y λ_t hacen referencia a efectos fijos de municipio y efectos fijos de tiempo, respectivamente. A su vez, D_{mt} es la variable del *tratamiento*.

$$\delta_{ml} = E(Y_m, Fg + \ell - Y_m, Fg + \ell(Dg, 1, \dots, Dg, 1)). \quad \text{(Ecuación 5)}$$

De tal modo, según lo dispuesto por la metodología desarrollada por de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022B), con δ_{ml} se representa la diferencia esperada entre el resultado

actual del municipio m en el periodo $F_g + L$ y el resultado contrafactual del *status quo* que habría obtenido si su tratamiento hubiera permanecido igual a su valor del período uno; es decir, desde el primer periodo de la muestra hasta $F_g + L$. En tal marco, se entiende el periodo F_g como el primer periodo en el que el tratamiento cambió.

A su vez, el coeficiente δ se obtiene al implementar un estimador de diferencias en diferencias que compara la evolución del resultado del periodo antes del tratamiento ($F_g - 1$) contra el resultado posterior al tratamiento ($F_g + L$) entre el municipio g y el municipio cuyo tratamiento aún no ha cambiado en $F_g + L$, pero que cuenta con el mismo tratamiento que g en el primer período de la muestra. De tal modo, para correr este modelo se utilizaron 300 *bootstraps*, y se utilizaron errores estándar agrupados a nivel de municipio.

Tabla 4. Definición de la variable de tratamiento para TWFE y de Chaisemartin y D’Haultfoeuille

	Definición del tratamiento
Definición N.º 1 (binaria <i>non-staggered</i>) ***	$D_{mt} = 0$, si el municipio m no tuvo ningún evento hidrometeorológico en el periodo t . $D_{mt} = 1$, si el municipio m tuvo al menos un evento hidrometeorológico en el periodo t . <i>Non-staggered</i> : corresponde a modelos en los que el tratamiento de las unidades tratadas no permanece encendido a partir del primer tratamiento que recibió. Por el contrario, las unidades pueden ser tratadas en un periodo, y no tratadas en periodos posteriores.
Definición N.º 2.1 (binaria <i>staggered</i> 2012) ***	$D_{mt} = 1$, si el municipio presentó un evento hidrometeorológico en determinado año, y se mantiene el tratamiento en años posteriores. Tiene al 2012 como año mínimo de tratamiento. Se usa 0 en caso contrario.
Definición N.º 2.2 (binaria <i>staggered</i> 2014) ***	$D_{mt} = 1$, si el municipio presentó un evento hidrometeorológico en determinado año, y se mantiene el tratamiento en años posteriores. Tiene al 2014 como año mínimo de tratamiento. No había recibido el tratamiento todavía.
Definición N.º 3 (discreta) **	D_{mt} es una variable discreta que representa la suma de eventos de fenómenos hidrometeorológicos de un municipio en un año determinado.
Definición N.º 4 (acumulada) *	En este caso, D_{mt} = número de eventos hidrometeorológicos acumulados en un municipio m en un t determinado.

* Definición del tratamiento utilizada solamente en el modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B). ** Definición del tratamiento utilizada solamente en TWFW. *** Definición del tratamiento utilizada tanto en el modelo TWFW como en el modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille. Además, en el caso de Chaisemartin y D’Haultfoeuille, la definición 2.1 también se utilizó para observar el efecto de inundaciones y movimientos en masa. Los resultados para estos casos se encuentran en los anexos 7 y 8.

Fuente: elaboración propia

7. Presentación de resultados

7.1 *Two way fixed effects*

A continuación, se presentan los resultados para los diferentes modelos de efectos fijos (TWFE).

Tabla 5. Efectos de eventos hidrometeorológicos en el valor agregado municipal según el modelo de TWFE

Variables	(1) Log_VA	(2) Log_VA	(3) Log_VA	(4) Log_VA
Definición 1	0,00462 (0,00436)			
Definición 2.1		0,0245 * (0,0137)		
Definición 2.2			0,0292*** (0,00891)	
Definición 3				3,24e-05 (0,000450)
Constant	4,933 *** (0,00221)	5,052 *** (0,0123)	5,200 *** (0,00685)	4,935 *** (0,000956)
Observations	11,219	9,486	5,790	11,219
R-squared	0,985	0,986	0,991	0,985

Errores estándar en paréntesis.

*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1

Se incluyen efectos fijos por municipio y por año.

Fuente: elaboración propia

En este marco, para el primer modelo de *two way fixed effects* se utilizó la definición de tratamiento N.º 1 de la tabla 4. Como se observó anteriormente, esta es una variable binaria que registra 1 en caso de que el municipio haya experimentado y reportado al menos un evento hidrometeorológico en un año determinado, y 0 en caso de no haber reportado ningún evento. A su vez, el coeficiente del modelo indica que no hay un efecto significativo sobre el valor agregado municipal al haber un evento hidrometeorológico.

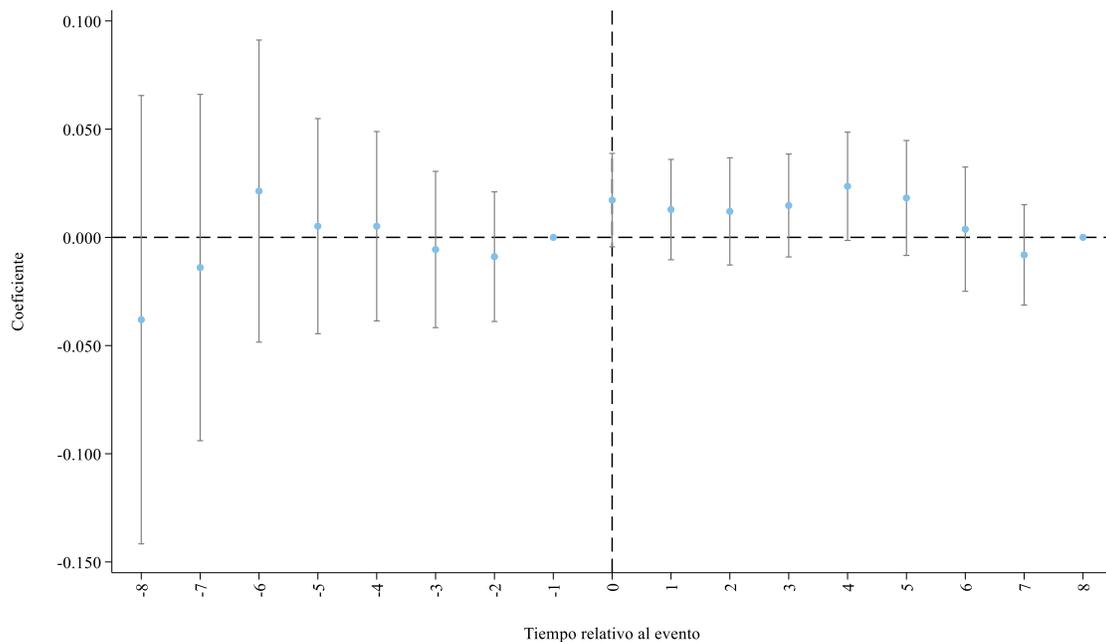
Asimismo, en cuanto atañe a los modelos que utilizan las definiciones de tratamiento N.º 2 y N.º 3 de la tabla 4, se observan coeficientes que indicarían un efecto positivo de los eventos hidrometeorológicos sobre el valor agregado municipal. En tanto, el modelo 2 indica que cuando se restringe la muestra al 2012 para los municipios, el haber tenido algún evento hidrometeorológico aumenta el valor agregado en 2,4 %, con un nivel de confianza del 90 %. En efecto, en el presente estudio se toma la decisión de restringir la muestra, teniendo en cuenta que durante el 2011 se dio la mayor ola invernal de que se ha registrado en el país.

Sin embargo, para adelantar un ejercicio de robustez, se restringe ahora la muestra al 2014 —dado que los años 2012 y 2013 podían verse contagiados por los efectos del 2011—, y para este caso se observa que el haber tenido algún evento hidrometeorológico aumenta el valor agregado en un 2,9 %, de acuerdo con un nivel de confianza del 99 %.

Adicionalmente, al usar como variable de tratamiento la intensidad de los eventos hidrometeorológicos presentados en los municipios —como corresponde a la definición 3 de la tabla 4—, no se encontró ningún *efecto estadísticamente significativo sobre el valor agregado*.

7.2. Estudio de eventos

Figura 10. Estudio de *eventos* - efecto de eventos hidrometeorológicos en *valor agregado* municipal en Colombia del 2011 al 2020



Fuente: elaboración propia

Es importante anotar el comportamiento de los periodos previos al evento, lo cual permite identificar la presencia o ausencia de tendencias paralelas. En tal caso, los intervalos de confianza indicarían que los grupos de tratamiento y control se comportaban de manera similar antes del evento. Además, si bien hay un resultado significativo en un nivel de confianza del 90 %, también es cierto en general que los coeficientes del estudio de eventos son ligeramente positivos, pero no significativos bajo un nivel de confianza del 95 %.

Asimismo, la anterior gráfica muestra los resultados del estudio de eventos. En ella se observa cómo el tratamiento —a saber, haber presenciado al menos un evento hidrometeorológico en un año determinado, a partir del año 2012— está asociado con un incremento en el valor agregado municipal de 2,3 %, en promedio cuatro periodos después de que haya tenido lugar el evento. Lo anterior se dio en el marco de un nivel de confianza del 90 % (ver tabla de resultados en anexo 1). Lo así descrito podría indicar que la gestión de riesgos de desastres es reactiva, y que, mediante los recursos invertidos para atender las emergencias, se incrementará eventualmente el valor agregado municipal. No obstante, cabe recordar que los modelos de este tipo también pueden estar sujetos a los sesgos mencionados en el apartado metodológico.

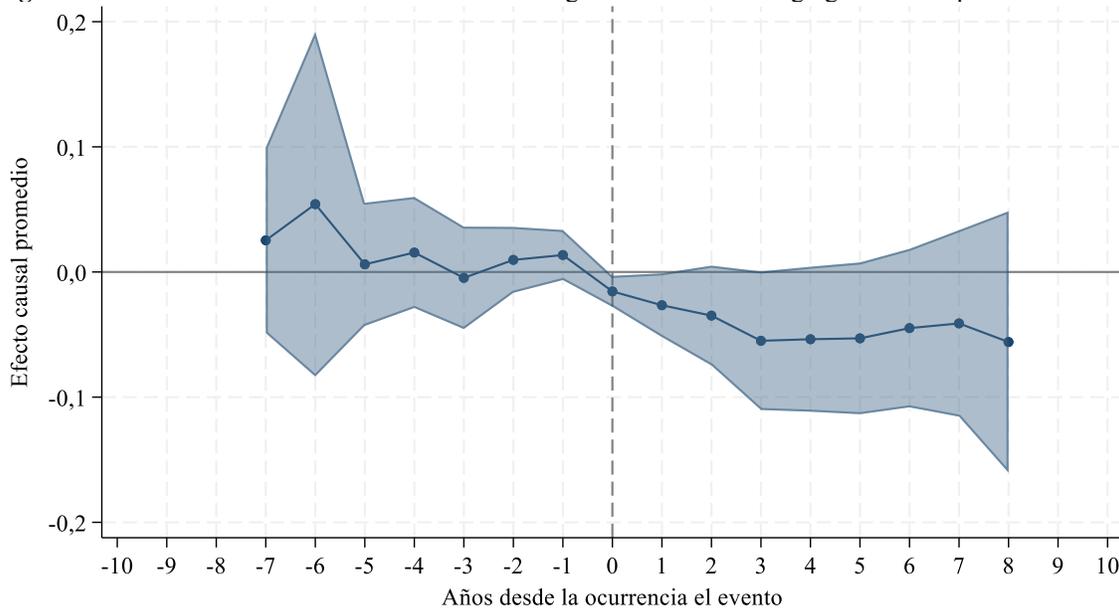
Asimismo, es importante señalar que los anteriores resultados —tanto de TWFE como del estudio de eventos— pueden incurrir en los sesgos que se discutieron en la sección de metodología, por lo cual se procede a observar los resultados de los modelos que utilizaron la metodología de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B).

7.3 Modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille

Dentro de la literatura de diferencias en diferencias de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B), se demuestran que es posible poner en práctica un modelo para desarrollar estimadores que permitan efectos dinámicos cuando el tratamiento es no binario y el diseño es *non staggered*. De tal modo, aquello último hace referencia a modelos en los que el tratamiento de las unidades tratadas no permanezca encendido a partir del primer tratamiento que recibió. Por el contrario, alude a cómo las unidades pueden ser tratadas en un periodo, y no tratadas en periodos posteriores.

En ese contexto, se decidió hacer uso de este modelo teniendo en cuenta los sesgos en los que incurren generalmente los modelos de efectos fijos, los cuales se describieron en la sección dedicada a la metodología en la presente investigación.

Figura 11. Consecuencias de eventos hidrometeorológicos sobre el valor agregado municipal en Colombia



Fuente: elaboración propia.

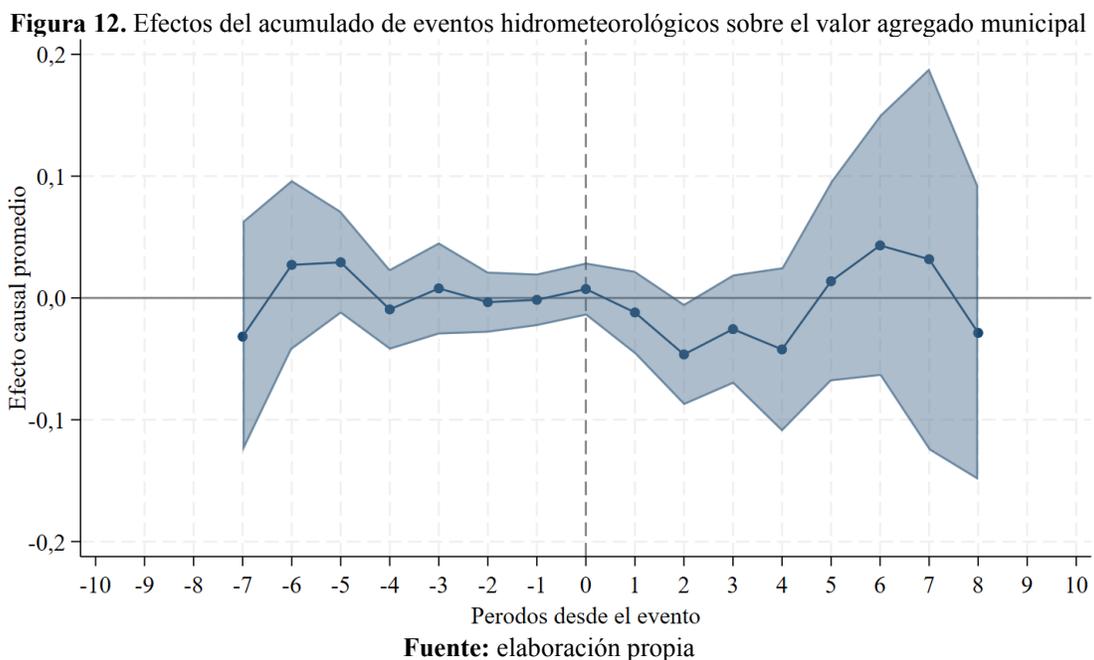
En este escenario, la figura 11 y la tabla del anexo 3 presentan los resultados de la definición de tratamiento N.º 1 de la tabla 4. En primer lugar, la gráfica muestra que el supuesto de las tendencias paralelas se cumple, dado que no se observan efectos significativos en periodos previos a que tuvieran lugar los eventos hidrometeorológicos. Asimismo, en general se observa que los coeficientes son negativos con posterioridad al evento hidrometeorológico. No obstante, cabe mencionar que solo en los periodos 0, 1 y 3 se presenta una significancia estadística del 95 %, de modo que con ello se puede afirmar que hay una reducción del crecimiento económico municipal como consecuencia de la presencia de eventos hidrometeorológicos. De tal modo, tanto la anterior gráfica como la tabla de resultados del anexo 3 indican que los municipios que padecieron algún evento hidrometeorológico, tuvieron en promedio una reducción en su valor agregado municipal de 1,5 % el año del evento y de 2,6 % un año después del evento, a comparación de aquellos municipios que aún no habían presenciado uno de dichos eventos.

Asimismo, los resultados indican para los municipios colombianos que haber pasado por un evento hidrometeorológico supone una reducción promedio del 5,4 % en el valor agregado municipal, luego de tres años del evento. Lo así descrito se compara de tal modo con aquellos municipios que al momento del evento todavía no habían sido tratados.

7.4 Efecto del acumulado de eventos hidrometeorológicos

También se corrió el modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B) mientras se utilizaba el acumulado del total de tipos de eventos hidrometeorológicos de los municipios en cada periodo como variable de tratamiento, lo cual corresponde a la definición de tratamiento del N.º 4 en la tabla 4. Dado que como lo muestra el estudio del BID y el DNP (2015), los eventos naturales tanto contemporáneos como rezagados pueden afectar la tasa de crecimiento de la economía, esta especificación del modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille permite abarcar el histórico de eventos hidrometeorológicos de un municipio.

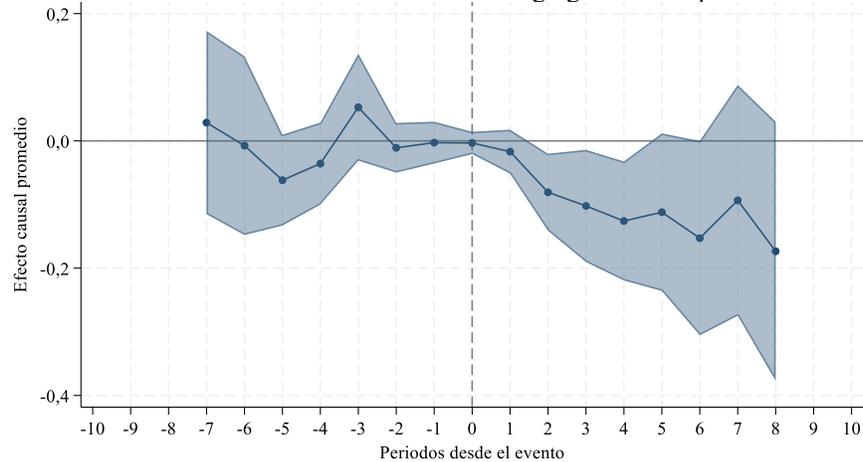
A su vez, los resultados de la figura 12 muestran que la exposición a un evento hidrometeorológico adicional —que corresponde a recibir altos grados de tratamiento— se asocia en promedio con una reducción del 4,6 % en el valor agregado municipal, dos periodos posteriores a la ocurrencia del evento. De tal modo, lo descrito se origina en su grado de comparación con los municipios que no habían sido tratados todavía para el periodo $Fg+L$; es decir, municipios con bajos grados de tratamiento.



7.5 Efectos heterogéneos por tipo de evento

Asimismo, se implementó el modelo de Chaisemartin y D'Haultfoeuille (2022A; 2022B), al diferenciar el tratamiento dado entre municipios afectados por inundaciones, y municipios que fueron afectados por deslizamientos. Los resultados correspondientes se muestran a continuación.

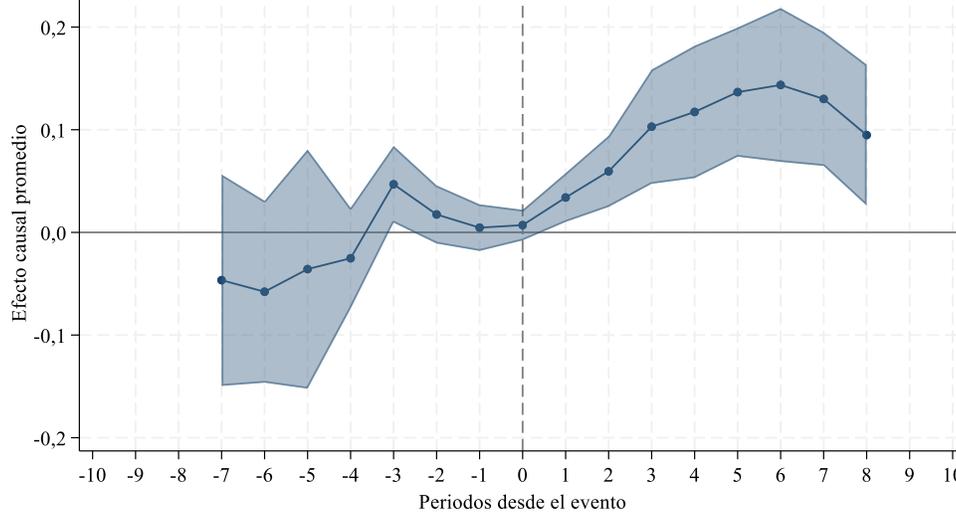
Figura 13. Efecto de las inundaciones sobre el valor agregado municipal del 2011 al 2020



Fuente: elaboración propia

A su vez, la figura 13 muestra que ser afectado por una inundación está asociado con una reducción del valor agregado municipal en 8 %, 10 %, 12 % y 15 %, 2, 3, 6 y 6 periodos después de ocurrido el evento, respetivamente. Lo así descrito se da entonces en un nivel de confianza del 95 %, utilizando la definición de tratamiento N.º 1 restringida solo a inundaciones.

Figura 14. Efecto de los movimientos en masa sobre el valor agregado municipal del 2011 al 2020



Fuente: elaboración propia

En contraste con el anterior resultado, al hacer uso de la definición de tratamiento N.º 1 de la tabla 4, la cual va restringida solo al movimiento en masa, el modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B) muestra una relación causal *positiva* entre los movimientos en masa y el valor agregado municipal. Aquello llega a asociarse con un aumento de hasta el 14 %, 6 años después de que tuviera lugar el movimiento en masa. Asimismo, con anterioridad al evento, se observa un comportamiento de los intervalos de confianza que le brindan soporte al supuesto de tendencias paralelas. No obstante, cabe notar que en el periodo -3 se presenta un coeficiente levemente significativo; sin embargo, todo parece indicar en general que, con anterioridad al evento, los grupos de tratamiento y control son similares.

Asimismo, tal y como se estudió en la revisión de literatura y el marco teórico, lo expuesto podría asociarse con las inversiones hechas en dichos municipios con posterioridad al evento en materia de infraestructura, e inclusive de cooperación internacional. Lo así descrito podría ser entonces una representación práctica de la teoría de *destrucción creativa*. De tal modo, esta diferencia en los resultados entre el efecto de las inundaciones y deslizamientos resulta tener gran importancia, y puede ser explicada por distintos factores: por ejemplo, es bien sabido que uno de los mecanismos mediante los cuales los eventos hidrometeorológicos pueden afectar la economía corresponde a los efectos que tengan en la infraestructura física y el capital humano, tal como lo destacan el BID y el DNP (2015).

Es importante tener en cuenta que la mayor cantidad de infraestructura —centros comunitarios, educativos y de salud— y la mayor cantidad de personas y familias afectados han recibido los efectos de las inundaciones según los datos reportados por la UNGRD, y, en menor medida, por movimientos en masa. Aquello podría explicar por qué se muestran efectos diferenciados entre las inundaciones y los movimientos en masa sobre el valor agregado municipal en Colombia para el periodo en estudio. De igual manera, el efecto positivo que observó el modelo para movimientos en masa puede derivarse de la forma como estos son gestionados. Por ejemplo, según Gallego et al. (2020), “la inversión municipal se concentró en la reducción del riesgo (47 %), y de manera secundaria y terciaria en el manejo de desastres (26 %) y el fortalecimiento de la gobernanza o gobernabilidad (22 %)” (p. 21). Cabe destacar además que dicha inversión en reducción del riesgo municipal para el periodo del 2011 al 2019 estuvo asociada al rubro correspondiente a subsidios para reubicación de viviendas asentadas en zonas de alto riesgo; la adecuación de áreas rurales y urbanas que se encontraban en zonas de alto riesgo; y, finalmente, la infraestructura física idónea para la prevención y el reforzamiento estructural (Gallego et al., 2020). De acuerdo con lo anterior, sería acertado pensar tener en cuenta que dicha inversión permitiría un crecimiento del valor agregado a largo plazo, en tanto que se está protegiendo y fortaleciendo la infraestructura al interior del municipio, ante eventos como movimientos en masa.

De igual manera, Rojas y Cabal (2021) muestran por medio de un caso de estudio del municipio de Gramalote en Norte de Santander, la forma como se atienden los movimientos en masa. Aquello indica que, luego del movimiento en masa que sucedió en el municipio, “el Gobierno nacional ha invertido 500 mil millones de pesos en la construcción de un nuevo casco urbano y en atender a las víctimas del desastre” (Rojas y Durán, 2021, p. 17).

Este municipio, el cual tuvo que evacuar a cerca de 3300 personas que residían en el casco urbano en el 2010, no solamente recibió dicha inversión por parte del Gobierno nacional. Además, fue beneficiaria de obras de infraestructura pública en las que se proyectaba la construcción de 988 viviendas y la edificación de un centro administrativo municipal, así como la puesta en funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas, un colegio y una plaza de mercado. Dicha explicación puede ilustrar la forma como la inversión recibida por los municipios con posterioridad a un evento de movimiento en masa, puede

explicar un crecimiento del valor agregado municipal en años posteriores, tal cual lo evidencia la gráfica 14, particularmente si estas inversiones se llevan a cabo según una perspectiva de *build back better*¹⁴.

7.6 Otras especificaciones

Con miras a los ejercicios de robustez, también se implementaron modelos de TWFE utilizando como variable de tratamiento el acumulado de eventos hidrometeorológicos —lo cual es patente en la definición 4 de la tabla 4— a la vez que se utilizaron las variables de deslizamientos e inundaciones. Estos aspectos se encuentran en el anexo 4. De igual manera, se desarrollaron los modelos de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B) con variables *staggered* a partir de 2012 (definición 2.1 de la tabla 4) y 2014 (definición 2,2 de la tabla 4). Estos se pueden observar en los anexos 5 y 6, respectivamente.

Asimismo, el modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B) se corrió para la variable *staggered*. De tal modo, esta redefine el evento como el primer momento en el que tuvo lugar un tratamiento por inundación a partir del 2012 (ver anexo 7), y otro en el cual se redefine el evento como el primer momento en el que ocurre el tratamiento por movimiento en masa a partir del 2012 (anexo 8). Por su parte, el anexo 9 muestra los resultados del modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille (2022A; 2022B) por medio de controles de población, cobertura educativa y tasa de homicidios, de modo que se concluye que no hay mucha diferencia con el modelo de Chaisemartin y D’Haultfoeuille original previamente expuesto en este estudio. Finalmente, el anexo 10 muestra los resultados de modelos TWFE para inundaciones y movimientos en masa, restringiendo la muestra a partir del 2012. En tal contexto, se muestra un coeficiente positivo, pero estadísticamente no significativo en ambos casos.

7. Próximos pasos

Con base en los resultados expuestos anteriormente, puede ser pertinente hacer un análisis del efecto del número de afectados y heridos, al igual que de la infraestructura afectada. Lo anterior se alinearía entonces con aproximaciones como las del DNP (2019), de modo que se

¹⁴ *Build back better* “[s]e basa en la premisa de que la reconstrucción de los espacios vitales afectados por desastres no podía reproducir las privaciones que existían antes del desastre; los espacios reconstruidos debían superar esas condiciones. En otras palabras, la reconstrucción debe potenciar un desarrollo más sostenible y fortalecer a las comunidades” (Rojas y Durán, 2021, p. 26).

analiza la población afectada por eventos, con miras a construir el índice de riesgo de desastres ajustado por capacidades.

De igual manera, partiendo de los resultados diferenciados de los modelos de Chaisemartin y D'Haultfoeuille (2022A; 2022B), para el efecto de los aspectos de las inundaciones y los deslizamientos, futuras aproximaciones podrían estudiar en detalle qué tipo de fenómenos hidrometeorológicos afectan más el desarrollo económico municipal. Asimismo, se podría incluir también un análisis del efecto de avenidas torrenciales que en esta oportunidad se omitió por datos reducidos en la muestra.

También se puede contemplar la posibilidad de interpretar el componente β como una medida de la intensidad del tratamiento. Aquello se lograría si se utilizan los valores discretos del número de eventos hidrometeorológicos, y si se observa el número de viviendas averiadas o destruidas por cada uno de los eventos.

Adicionalmente, para efectos de pruebas de robustez, los modelos podrían correrse eliminando las ciudades principales que reportan un mayor número de eventos, y que tienen un valor agregado más elevado. De tal modo, lo anterior permitiría tener datos más ajustados a la realidad.

Es importante señalar que el DNP lanzó la actualización del Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por capacidades a finales del 2022, en el que incluyó variables que daban cuenta de estrés hídrico e incendios. En efecto, como paso posterior a la presente investigación, se podría trabajar con los datos de ese índice, una vez estos sean publicados para dominio público. De tal modo, se ayudaría a complementar la comprensión de los efectos del cambio y la variabilidad climática en la economía municipal.

Cabe reseñar que la información de las bases de datos del DANE utilizadas en la investigación también cuentan con información sobre el valor agregado separado por tipo de actividades económicas: actividades primarias, secundarias y terciarias. En ese sentido, futuros estudios podrían enfocarse en dar uso a la metodología de Chaisemartin y D'Haultfoeuille para observar el impacto de eventos hidrometeorológicos en cada una de las actividades económicas diferenciadas.

Adicionalmente, se puede a la larga considerar aplicar la metodología de Chaisemartin y D'Haultfoeuille con los mismos datos del presente estudio, pero incluyendo una variable que permita zonificar los resultados. De tal modo, esta permitiría dar cuenta de cómo el valor agregado de los municipios varía según la región, la cuenca hidrográfica o la corporación autónoma regional (CAR) a la que pertenece. En efecto, lo anterior inclusive supondría considerar la opción de comparar resultados entre los municipios con vocación agrícolas, versus municipios no agrícolas.

8. Conclusiones

La aplicación de la metodología de Chaisemartin y D'Haultfoeuille (2022A; 2022B) permitió corroborar los argumentos de autores como Roth et al. (2023), quienes observaron que los coeficientes producto de las estimaciones realizadas con la metodología TWFE tienen sesgos. Por tanto, al aplicar una metodología que permite tener en cuenta efectos heterogéneos, se hizo más fácil tener una mayor comprensión del efecto de los eventos hidrometeorológicos sobre el crecimiento económico municipal en el periodo en estudio.

A su vez, los resultados presentados dan cuenta de un efecto negativo de los eventos hidrometeorológicos sobre el valor agregado municipal. Aquello permitirá sensibilizar a los gobernantes y tomadores de decisión sobre el efecto del cambio climático, así como de la variabilidad climática sobre el valor agregado que se genera en el municipio. De igual modo, eventualmente se puede considerar la pertinencia de realizar intervenciones de política pública mediante un análisis de costos y beneficios. En tal caso, se podría comparar el costo de una medida de reducción del riesgo versus el impacto en el valor agregado municipal de los efectos hidrometeorológicos que habría en caso de no hacer nada.

Adicionalmente, se observaron efectos diferenciados por tipos de evento hidrometeorológico, cuyos resultados deben seguir siendo estudiados. Lo así descrito puede representar recursos importantes para municipios pequeños cuya condición fiscal sea precaria en caso de inundaciones. Por otra parte, llama la atención el efecto de los movimientos en masa, lo cual llega a asociarse con incrementos superiores al 10 % en el valor agregado municipal.

Tabla 6. Resumen de resultados que indican el signo de los coeficientes y su significancia estadística¹⁵

Definiciones del tratamiento	De Chaisemartin y D'Haultfoeuille	TWFE
Definición 1	Negativo (***)	Positivo ()
Definición 1 restringida a inundaciones	Negativo (***)	Negativo ()
Definición 1 restringida a movimientos en masa	Positivo (***)	Negativo ()
Definición 2.1 (<i>absorbing</i> , muestra de 2012)	Positivo ()	Positivo (*)
	Inundaciones negativo ()	Positivo ()
	Movimientos positivo ()	Positivo ()
Definición 2.2 (<i>absorbing</i> , muestra 2014)	Negativo ()	Positivo (***)
Definición 3 (suma)		Positivo ()
Definición 4 (acumulado)	Negativo (***)	Negativo ()

Errores estándar robustos en paréntesis

*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1

Fuente: elaboración propia

En este marco, los resultados expuestos a lo largo del documento se pueden resumir en la tabla 6. De tal modo, se observa que hay diferencias claras entre los resultados obtenidos a partir de estimaciones que usan el modelo TWFE y el modelo de Chaisemartin y D'Haultfoeuille.

En particular, es importante destacar las diferencias que hay entre ambos modelos en especificaciones tales como la definición 1, en las cuales el modelo TWFE estimaba un efecto positivo, sin significancia estadística. Mientras tanto, el modelo de Chaisemartin y D'Haultfoeuille identifica un efecto negativo con significancia estadística del 95 %. Además, también llaman la atención los resultados obtenidos a partir de la definición 2.2, en la que el modelo TWFE evidenciaba un efecto positivo de los eventos hidrometeorológicos, restringiendo la muestra al 2014, mientras que el de Chaisemartin y D'Haultfoeuille no encontró coeficientes estadísticamente significativos. De igual manera, se destaca la diferencia de resultados al usar la definición 4, a la vez que el modelo de Chaisemartin y D'Haultfoeuille sí logró encontrar un efecto negativo y estadísticamente significativo del acumulado de eventos.

De igual modo, la investigación puede considerarse un avance en el conocimiento actual sobre el impacto económico de los eventos hidrometeorológicos, a nivel municipal y ajustado a sus características. En tanto, la mayoría del análisis se habían enfocado en impactos de carácter nacional, departamental o sectorial. No obstante, es también importante

¹⁵ Las especificaciones en color azul son aquellas presentadas en el cuerpo de la investigación, mientras que aquellas en naranja son las que se encuentran incluidas en los anexos por cuestión de espacio.

mencionar que el análisis presentado se basa en el supuesto de que los datos obtenidos de las bases de datos de la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastre representan la realidad actual de los eventos. Por ende, se hace evidente que puede haber factores que afecten el reporte de eventos en los municipios, que ocasionen que la muestra esté subrepresentada.

Asimismo, los resultados aquí descritos permiten complementar estudios como los del BID y el DNP (2015), los cuales muestran que no hay un consenso generalizado sobre el signo del impacto. Aquello obedece a que los resultados varían dependiendo del tipo de economías, los eventos y las metodologías utilizadas. No obstante, cabe recordar que aquello se construyó con base en datos departamentales, y que dichos datos se calcularon a partir de información de corte transversal municipal. De ese modo, se utilizaron para analizar los determinantes de los desastres naturales, y no para determinar el impacto sobre el PIB municipal; por consiguiente, la presente investigación supone un complemento a investigaciones anteriores.

Tomamos como base la noción de que el desastre es considerado la materialización de la amenaza, en conjunto con condiciones de vulnerabilidad. Aquello se hizo evidente en el caso del Índice de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades. En ese sentido, se puede afirmar que los resultados del presente trabajo de investigación van más allá de la definición tradicional de *desastre*. En ese sentido, los resultados tienen en cuenta eventos hidrometeorológicos reportados que no necesariamente tuvieron grandes afectaciones en la vivienda o el capital humano; sucesos que pudieron tener un efecto causal de una u otra forma sobre la economía de los municipios en general. Por ejemplo, los modelos aquí expuestos pueden tener en cuenta mecanismos como el cierre de vías por deslizamiento, y las inundaciones en cultivos. Con ello, se hace alusión a hechos que no necesariamente afectaron de manera física a la población de los municipios, pero que sí tienen injerencia en el desarrollo económico de la entidad territorial.

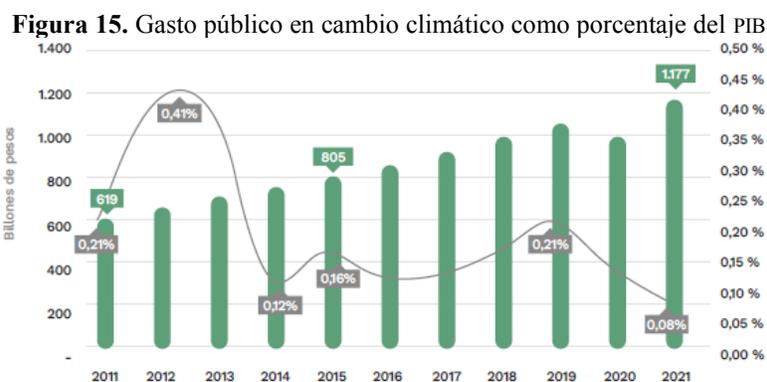
9. Recomendaciones de política pública

Con el estudio adelantado, se evidencia en qué medida es relevante tener presentes los impactos económicos del cambio climático, no solo a nivel sectorial, sino a nivel municipal, al momento de formular planes municipales de desarrollo. Asimismo, se debe contar con un

componente importante en la elaboración de los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales (PIGCCT).

Asimismo, se requiere que el Gobierno nacional invierta en capacidad de reporte de eventos hidrometeorológicos, para que de esa manera los próximos análisis que se elaboren se acerquen más a la realidad, y no estén sesgados por las dificultades en capacidad de reporte de los municipios. Esto obedece a que, como se pudo observar en las estadísticas descriptivas, tal capacidad es mayor en municipios con mayor valor agregado. En otras palabras, la inversión permitiría ver de modo más claro el efecto los eventos hidrometeorológicos en estudio sobre el crecimiento económico municipal. De tal modo, dicha inversión podría canalizarse mediante la UNGRD, al ser esa la entidad que hasta el momento recopila la información de eventos hidrometeorológicos en sus bases de datos.

Con base en las repercusiones que hubo en el crecimiento económico municipal de los fenómenos descritos, se recomienda que los gobiernos municipales aumenten su inversión en adaptación al cambio climático de tal manera que puedan mejorar su resiliencia ante los choques climáticos. Actualmente, la inversión en cambio climático representa una parte efímera del Producto Interno Bruto del país. Por ejemplo, el DNP (2022) observó que a 2021, el gasto público asociado al cambio climático como porcentaje del PIB —postulado en billones de pesos—, correspondía únicamente al 0,018 %.



Fuente: DNP (2022)

Dado lo anterior, si hay una apropiación de los resultados como producto del presente estudio, estos se podrían utilizar como argumento de peso para aumentar las inversiones en cambio climático. Aquello se daría en particular al interior de cada una de las secretarías de desarrollo económico municipal.

Además, en línea con las recomendaciones definidas por el Banco Mundial (2020), se recomienda que los alcaldes de los municipios afectados hagan un uso simultáneo de la gestión del riesgo de desastres con la gestión de los recursos hídricos, en coordinación con las CAR. Con ello, se busca evitar una reducción de su valor agregado municipal como consecuencia de inundaciones.

A la vez, se debe tener presente lo revelado por las estadísticas descriptivas del periodo en estudio con respecto a los daños ocasionados por inundaciones. En ese sentido, se recomienda que la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y que las CAR prioricen inversiones de manejo de cuencas, con énfasis en áreas en las que las inundaciones causan daños importantes a nivel de infraestructura, acorde con el Banco Mundial (2020). Otra recomendación fue dirigida a la UNGRD, la cual fue recopilada con base en uno de los puntos discutidos en la sección de pasos a seguir. Esta corresponde a que dicha entidad considere la pertinencia de llevar a cabo una evaluación de impacto de los planes municipales de gestión del riesgo, a la vez que actualiza cifras de estudios previos, mediante las nuevas metodologías de diferencias en diferencias utilizadas en el presente estudio.

Asimismo, como complemento a la postulación de políticas para el fortalecimiento de la resiliencia de los municipios, es recomendable que los formuladores y evaluadores de política pública, tanto del nivel nacional como de las secretarías de planeación municipal, piensen en incorporar las nuevas metodologías de Chaisemartin y D'Haultfoeuille en las evaluaciones de impacto organizadas en los planes de ordenamiento territorial y la política territorial nacional. Lo anterior permitirá revisar los hallazgos de estudios anteriores, y actualizar los impactos encontrados anteriormente, de modo que se implementa una metodología la cual corrige los sesgos de modelos de efectos fijos.

De igual modo, teniendo en cuenta los efectos negativos encontrados, se recomienda que las secretarías de planeación municipal consideren aumentar los rubros presupuestales para la prevención y atención de eventos hidrometeorológicos. Así, se podría evitar que el valor agregado municipal decreciera con posterioridad a una inundación o un movimiento en masa.

Finalmente, se les recomienda a los evaluadores de políticas públicas de las entidades territoriales continuar explorando el modelo propuesto por de Chaisemartin y

D'Haulfoeuille, toda vez que este puede ser empleado para evaluar el impacto de otras variables las cuales se ven afectadas por el cambio climático sobre la economía de sus municipios. Por ejemplo, también se podría pensar en recopilar información sobre el impacto de la pérdida de la biodiversidad en indicadores económicos como el crecimiento municipal o la pobreza.

10. Referencias

- Aristizábal, E., García, E., Mari, R., Gómez, F., & Guzmán-Martínez, J. (2022). Rainfall-intensity effect on landslide hazard assessment due to climate change in north-western Colombian Andes. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 103. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20201215>
- Ashizawa, T., Sudo, N., & Yamamoto, H. (2022). *How do floods affect the economy? An Empirical Analysis using Japanese Flood Data*. (Bank of Japan Working Paper Series N.º 22 E6). https://www.boj.or.jp/en/research/wps_rev/wps_2022/data/wp22e06.pdf
- Banco Mundial & UNGRD. (2012). *Formulación del Plan Municipal de Gestión del Riesgo*. Banco Mundial y UNGRD. <https://www.boyaca.gov.co/SecInfraestructura/images/CDGRD/Guias%20Planes%20Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo/Guia%20Plan%20Municipal%20Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo%20de%20Desastres.pdf>
- Banco Mundial. (2016). *Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty*. Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22787/9781464806735.pdf>
- Banco Mundial. (2019). *Lifelines: Tomando acción hacia una infraestructura más resiliente*. Banco Mundial. <http://hdl.handle.net/10986/31805>
- Banco Mundial. (2020). *Colombia cambiando de rumbo: seguridad hídrica para la recuperación y el crecimiento sostenible*. Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/b3fffd3e-eaef-5f4a-89c9-627a5b8fd4d4>
- Banco Mundial. (2021). *Climate Risk Profile: Colombia*. Banco Mundial. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-07/15520-WB_Colombia%20Country%20Profile-WEB%20%283%29.pdf

- Banrep. (2023). *Producto interno bruto*. Banco de la República. <https://www.banrep.gov.co/es/glosario/producto-interno-bruto-pib#:~:text=El%20producto%20interno%20bruto%20>
- BID, & DNP. (2015). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Costos económicos de los eventos extremos*. (Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 260, Washington D.C.).
- Bohórquez, C., & Otero, A. (2020). *Blame it on the Rain: The effects of Weather Shocks on Formal Rural Employment in Colombia*. (Documento de trabajo 292 sobre economía regional y urbana del Banco de la República). https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9904/DTSERU_292.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Cavallo, E., Becerra, O., & Acevedo, L. (2021). *The Impact of Natural Disasters on Economic Growth*. (Inter-American Development Bank. IDB Working paper series No. IDB-WP-1257). <http://dx.doi.org/10.18235/0003683>
- Congreso de la República. (2012). *Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*.
- Congreso de la República. (2018). *Ley 1931 de 2018. Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765#:~:text=Por%20medio%20de%20la%20cual,acciones%20de%20adaptaci%C3%B3n%20a%20cambio>
- Crespo, J., Hlouskova, J., & Obersteiner, M. (2019). *Natural disasters as creative destruction: Evidence from developing countries*. *Economic Inquiry*, 46(2), 214-226. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.2007.00063.x>
- DANE. (2014). *Ficha Metodológica Cuentas Anuales de Bienes y Servicios-CABYS*. DANE. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/pib/Ficha_met_ctas_anua_bie_ser_03_14.pdf

- DANE. (2021). *Valor Agregado Municipal*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- DANE. (2022A). *Metodología general valor agregado por municipios. Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales*. DANE.
- DANE. (2022). *Análisis de accesibilidad a centros educativos*. DANE. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas/abr_2022_nota_estadistica_analisis_accesibilidad_centros_educativos.pdf
- De Chaisemartin, C., & D’haultfeuille, X. (2022A). *Two-Way Fixed Effects and Differences in Differences with Heterogeneous Treatment Effect: A survey*. (Documento de trabajo 29691 del National Bureau of Economic Research). <https://doi.org/10.3386/w29691>
- De Chaisemartin, C., & D’Haultfoeuille, X. (2022B). *Difference in Difference Estimators of Intertemporal Treatment Effect*. (Documento de trabajo 29873 del National Bureau of Economic Research). https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29873/w29873.pdf
- DNP & BID. (2014). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia*. DNP & BID. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Impactos%20Econ%C3%B3micos%20del%20Cambio%20Climatico_Sintesis_Resumen%20Ejecutivo.pdf
- DNP. (2019). *Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades*. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/IndicemunicipalRiesgos.pdf>
- DNP. (2021). *Conpes 4058: política pública para reducir las condiciones de riesgo de desastres y adaptarse a los fenómenos de variabilidad climática*. DNP.
- DNP. (2022). *Estrategia Nacional de Financiamiento Climático*. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Finanzas%20del%20Clima/Estrategia-Nacional-de-Financimiento-Climatico-2022.pdf>
- Gallego, L. Díaz, C., & Ibatá, L. (2020). *Gastos de Inversión Pública para el financiamiento de la Gestión del Riesgo de Desastres en el orden nacional y subnacional para el*

- periodo 2011-2019 en Colombia.* (Documento 523 de la Dirección de Estudios Económicos del Departamento Nacional de Planeación). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/523.pdf>
- Goodman-Bacon, A. (2021). Difference-in-differences with variation in treatment timing. *Journal of Econometrics*, 225(2), 254-277. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304407621001445>
- Grames, J., Prskawetz, A., Grass, D., Viglione, A., & Blöschl, G. (2016). Modeling the interaction between flooding events and economic growth. *Ecological Economics*, 129(1), 193-209. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0921800915303980?token=962E7F7ED58BE293AF8347278BBE11A4843F5A5DBC61F55B2BA64116A9BD0D86E8EE7D6246A68F3E32493E4FF55B3A78&originRegion=us-east-1&originCreation=20220320214000>
- Hallegatte, S., Fay, M., & Barbier, E. (2018). Poverty and climate change: Introduction. *Environment and Development Economics*, 23(3), 217-233. <https://doi.org/10.1017/S1355770X18000141>
- Huntington, N. (2021). *The Effect: An Introduction to Research Design and Causality.* <https://theeffectbook.net/ch-DifferenceinDifference.html>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería. (2017). *Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.* IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería.
- IPCC. (2012). *Glosary of Terms. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.* Cambridge University Press. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf
- IPCC. (2021A). *Climate change widespread, rapid, and intensifying.* IPCC. <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>
- IPCC. (2021B). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change*. IPCC.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf
- Jaramillo, C. (2009). Do Natural Disasters Have Long-term effects on Growth? (Documentos CEDE de la Universidad de los Andes).
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8145/dcede2009-24.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lost-Stats. (2023). *Difference-in-Differences Event Study / Dynamic Difference in-Differences*. Lost-Stats. https://lost-stats.github.io/Model_Estimation/Research_Design/event_study.html
- Mediodia, H. (2013). Impact of Floods on Economic Growth: Evidence from South and Southeast Asia. *Philippine Journal of Social Sciences and Humanities - University of the Philippines Visayas*, 18(1), 49-53
https://www.researchgate.net/publication/317618077_Impact_of_Floods_on_Economic_Growth_Evidence_from_South_and_Southeast_Asia
- MinAgricultura. (2021). Resolución 00035. *Por la cual se adopta el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático de Sector Agropecuario*.
<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000355%20DE%202021.pdf>
- MinAmbiente. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático. Dirección de Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>
- MinAmbiente. (2022). *Estrategia E2050*. MinAmbiente.
<https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-2050/#:~:text=La%20Estrategia%202050%20es%20un,internacional%20del%20Pa%C3%ADs%20para%20contribuir>
- ONU. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Organización de las Naciones Unidas.

https://unfccc.int/sites/default/files/convention_text_with_annexes_spanish_for_posting.pdf

Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. (2021). *Climate Change 2021: the Physical Science Basis*. Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.

PNACC. (2016). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: Bases Conceptuales*. PNACC.

https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DNP/PNACC_ABC%20Adaptaci%20c3%b3n%20Bases%20Conceptuales.pdf

PNACC. (2016B). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: Líneas de Acción Prioritarias para la Adaptación al Cambio Climático*. PNACC. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC%202016%20linea%20accion%20prioritarias.pdf>

Rojas, S., & Durán, H. (2021). *Entre dos pueblos. Desastre, desplazamiento ambiental y reasentamiento en Gramalote, Norte de Santander*. Editorial Dejusticia.

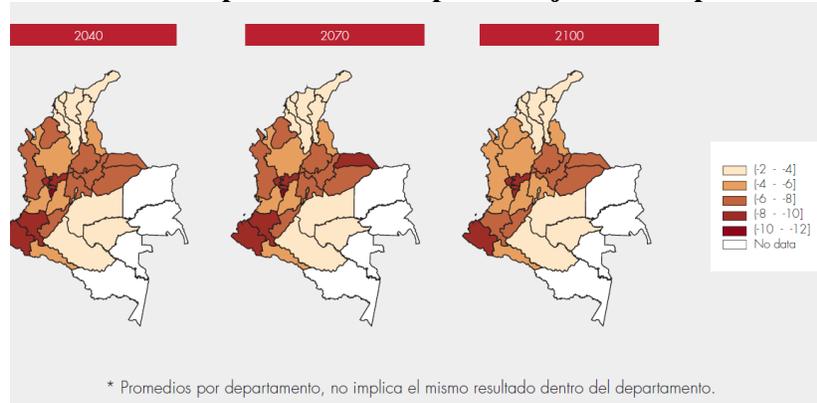
Roth, J., Sant' Anna, P., & Bilinski, A. (2022). What's trending in Difference-in-Difference? A synthesis of the recent econometrics literature. *Journal of Econometrics*. https://www.jonathandroth.com/assets/files/DiD_Review_Paper.pdf

Tovar, J. (2021). Choques climáticos y sus efectos sobre el sector agrícola. *Banco de la República*. Banco de la República. <https://www.banrep.gov.co/es/blog/choques-climaticos-y-sus-efectos-sobre-el-sector-agricola-colombia>

UNGRD. (2022). Consolidado Anual de Emergencias. *UNGRD*. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>

11. Anexos

Anexo 1. Impactos en la productividad del modo carretero: reducción estimada de la disponibilidad de la red vial primaria como porcentaje del tiempo



Fuente: DNP (2014)

Anexo 2. Tabla de resultados del estudio de eventos

	Log VA	Coefficient	Robust std. err.	T	P > t	[95 % conf. interval]
T-8	D1_1	-0,0380539	0,0527981	-0,72	0,471	-0,1416554 0,0655476
T-7	D1_2	-0,0139528	0,0407877	-0,34	0,732	-0,0939871 0,0660815
T-6	D1_3	0,0213705	0,0355761	0,6	0,548	-0,0484377 0,0911787
T-5	D1_4	0,0051739	0,025335	0,2	0,838	-0,0445389 0,0548867
T-4	D1_5	0,0051377	0,0223031	0,23	0,818	-0,0386259 0,0489014
T-3	D1_6	-0,0056138	0,0184004	-0,31	0,76	-0,0417195 0,0304919
T-2	D1_7	-0,0089351	0,0152677	-0,59	0,559	-0,0388937 0,0210235
T-1	D1_8	0	(omitted)			
T=0	D1_9	0,0172084	0,0109998	1,56	0,118	-0,0043756 0,0387925
T+1	D1_10	0,0128414	0,0118175	1,09	0,277	-0,0103471 0,03603
T+2	D1_11	0,0119999	0,0126237	0,95	0,342	-0,0127706 0,0367704
T+3	D1_12	0,0147153	0,0121137	1,21	0,225	-0,0090545 0,0384851
T+4	D1_13	0,0236	0,0127564	1,85	0,065	-0,0014308 0,0486308
T+5	D1_14	0,018195	0,0135362	1,34	0,179	-0,008366 0,0447561
T+6	D1_15	0,0037768	0,0146303	0,26	0,796	-0,0249311 0,0324847
T+7	D1_16	-0,0080973	0,0118135	-0,69	0,493	-0,0312779 0,0150833
T+8	D1_17	0	(omitted)			
	cons	5,064511	0,0090501	559,61	0	5,046752 5,082269

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Tabla de resultados del modelo de Chaismartin y D'Haultfoeuille

	Estimate	SE	LB CI	UB CI	N	Switchers
Effect 0	-0,0155039	0,0066752	-0,0285874	-0,0024205	2912	1047
Effect 1	-0,0265583	0,0126874	-0,0514255	-0,0016911	2141	1033
Effect 2	-0,0348248	0,020165	-0,0743482	0,0046986	1732	1026
Effect 3	-0,0549555	0,0269833	-0,1078427	-0,0020683	1482	1019
Effect 4	-0,0537209	0,0283204	-0,1092288	0,0017871	1345	1002
Effect 5	-0,0530095	0,0321561	-0,1160354	0,0100165	1225	974
Effect 6	-0,0448383	0,0347332	-0,1129153	0,0232387	1027	851
Effect 7	-0,0410814	0,040066	-0,1196108	0,0374479	800	692
Effect 8	-0,055928	0,0563968	-0,1664657	0,0546097	384	337
Placebo 1	0,0135669	0,0093909	-0,0048394	0,0319731	1818	710
Placebo 2	0,0096864	0,0132251	-0,0162349	0,0356076	1061	355
Placebo 3	-0,004681	0,0199777	-0,0438373	0,0344753	659	196
Placebo 4	0,0155723	0,0238606	-0,0311945	0,0623391	416	73
Placebo 5	0,0061124	0,0261983	-0,0452363	0,0574611	296	45
Placebo 6	0,0542241	0,0650803	-0,0733334	0,1817815	204	28
Placebo 7	0,0253269	0,0372227	-0,0476296	0,0982834	129	21

Fuente: elaboración propia

Anexo 4. Efecto de eventos hidrometeorológicos en el valor agregado municipal

Variables	(1) Log VA	(2) Log VA	(3) Log VA
cumfreq	-0,000545 (0,000791)		
Deslizamiento		-0,00376 (0,00764)	
Inundación			-0,00300 (0,00882)
Constant	4,945*** (0,0136)	5,213*** (0,00309)	5,213*** (0,00633)
Observations	11,219	5,653	5,653
R-squared	0,985	0,985	0,985

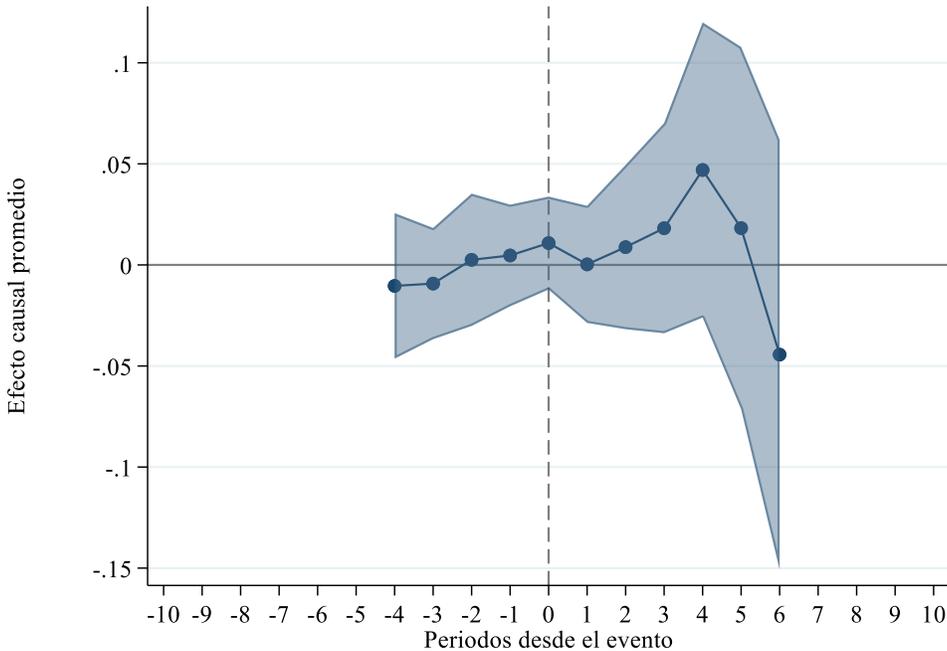
Robust standard errors in parentheses.

*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1

Se incluyen efectos fijos por municipio y por año.

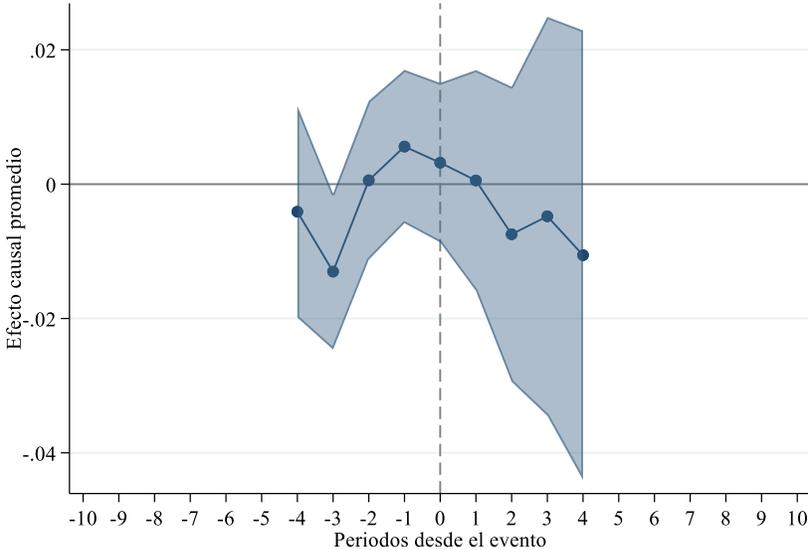
Fuente: elaboración propia

Anexo 5. Modelo de Chaismartin y D'Haultfoeuille redefiniendo el evento como el primer momento en el que el tratamiento cambió a partir del 2012



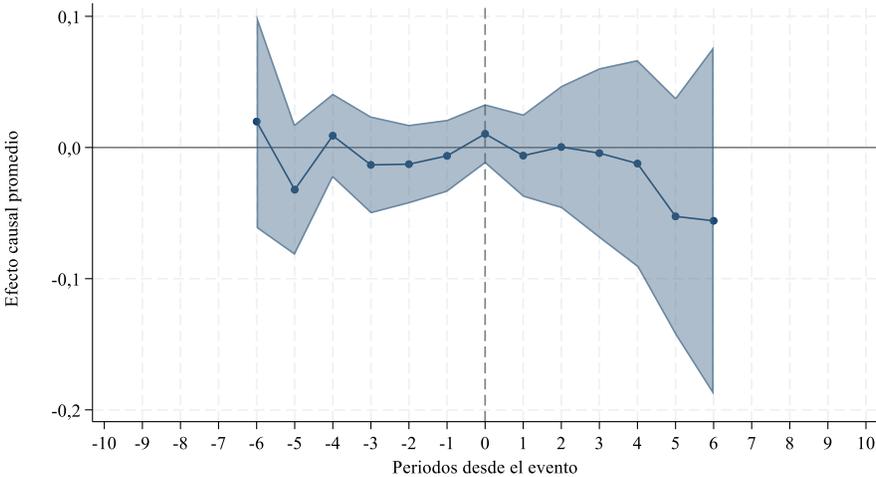
Fuente: elaboración propia

Anexo 6. Modelo de Chaismartin y D'Haultfoeuille redefiniendo el evento como el primer momento en el que el tratamiento cambió a partir del 2014



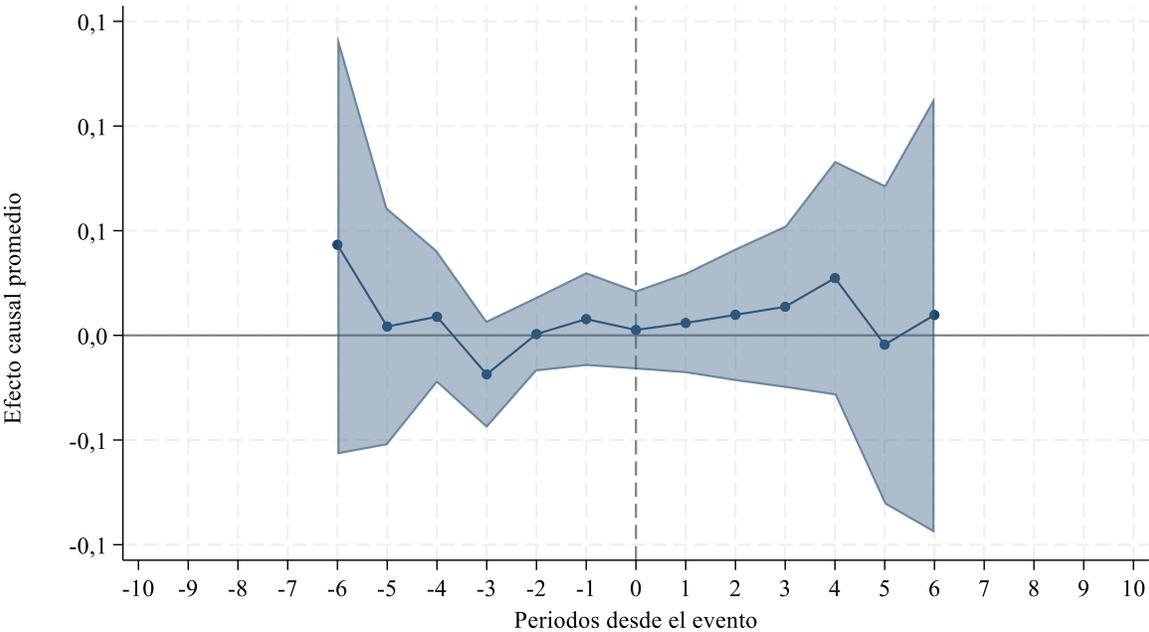
Fuente: elaboración propia

Anexo 7. Modelo de Chaismartin y D'Haultfoeuille redefiniendo el evento como el primer momento en el que el tratamiento de inundación cambió a partir del 2012



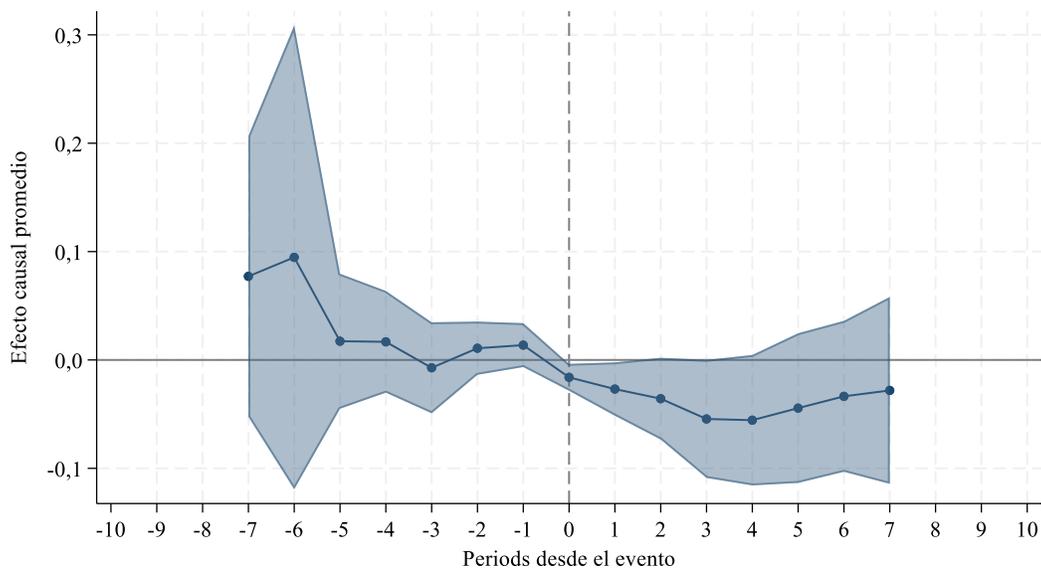
Fuente: elaboración propia

Anexo 8. Modelo de Chaismartin y D'Haultfoeuille redefiniendo el evento como el primer momento en el que el tratamiento de movimiento en masa cambió a partir del 2012



Fuente: elaboración propia

Anexo 9. Modelo de Chaisemartin & D'Haultfoeuille con variables de control. Efecto de eventos hidrometeorológicos sobre el valor agregado municipal en Colombia incluyendo controles



Fuente: elaboración propia.

Una vez se tuvieron en cuenta las variables de control, los resultados del modelo de Chaisemartin y D'Haultfoeuille no fueron muy diferentes de los resultados obtenidos anteriormente. Asimismo, las variables que se utilizaron como controles fueron la población total de los municipios, la tasa de homicidios por cada 100 mil habitantes y la cobertura educativa bruta. En tal escenario, el único cambio se evidenció en el año en el que ocurrió el evento en el que el modelo indicó una reducción de 1,6 %, en lugar de una reducción del 1,5 % en el valor agregado. Además, el modelo no estimó efecto para 3 periodos con posterioridad al evento.

Se optó además por no incorporar controles en principio. Aquello obedeció a que, al igual que al implementar la metodología de diferencias en diferencias, siempre se compara el antes y el después de un municipio; en efecto, ya se han tenido en cuenta los cambios dados a lo largo del tiempo. Además, las variables control escogidas no suelen cambiar mucho a lo largo del tiempo diferencialmente entre tratamiento y control; por consiguiente, cualquier diferencia grande debería ser capturada por los efectos fijos del modelo.

Anexo 10. Resultado de modelo two way fixed effects para tratamiento absorbing por tipo de evento restringiendo la muestra a datos a partir de 2012

Variables	(1) Log_VA	(2) Log_VA
Evento_Abs2_in	0,00655 (0,0149)	
Evento_Abs2_mov		0,0144 (0,0110)
Constant	5,140*** (0,0133)	5,067*** (0,00827)
Observations	8,478	6,498
R-squared	0,986	0,990

Robust standard errors in parentheses.

*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1

Fuente: elaboración propia.

Documentos de trabajo es una publicación periódica de la Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo de la Universidad de los Andes, que tiene como objetivo la difusión de investigaciones en curso relacionadas con asuntos públicos de diversa índole. Los trabajos que se incluyen en la serie se caracterizan por su interdisciplinariedad y la rigurosidad de su análisis, y pretenden fortalecer el diálogo entre la comunidad académica y los sectores encargados del diseño, la aplicación y la formulación de políticas públicas.

gobierno.uniandes.edu.co

     | GobiernoUAndes