

# BORRADORES DE ECONOMÍA



Check for updates

Choques climáticos, productividad y desempeño de las firmas de la industria manufacturera en Colombia

Por:  
Jefferson Muñoz  
Alex Perez  
Jaime Carabali

Núm. 1298  
2025



# Choques climáticos, productividad y desempeño de las firmas de la industria manufacturera en Colombia\*

Jefferson Muñoz, Alex Perez, y Jaime Carabali

*Las opiniones expresadas en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no representan el punto de vista del Banco de la República ni de su Junta Directiva.*

## Resumen

En este trabajo estudiamos el efecto de los choques climáticos sobre la productividad y el desempeño de las firmas. Durante las últimas décadas, el mundo se ha enfrentado al incremento notable de los eventos climáticos extremos, los cuales son cada vez más frecuentes y fuertes. Estos choques climáticos tienen efectos sobre la productividad de las firmas, lo cual termina afectando el desempeño de estas en el mercado. Nosotros proponemos una estrategia de estimación que nos permite cuantificar estos efectos. Utilizamos datos de la EAM del DANE, junto con información climática de CHIRPS y Copernicus. Nuestros resultados muestran evidencia de que los choques climáticos de alta y baja precipitación afectan negativamente la productividad de las firmas. Adicionalmente, existe una relación directa entre el desempeño de las firmas y la productividad, y con los choques de precipitación. Finalmente, no encontramos evidencia de que la productividad sea una canal a través del cual los choques climáticos afecten el desempeño de las firmas.

**Palabras clave:** *Desempeño, productividad, choques climáticos, industria manufacturera.*

**Clasificación JEL:** *Q51, Q54, D24, O14, O44*

---

\*Jefferson Muñoz, Universidad ICESI. [Jeffersonmunoz@profesores.uniajc.edu.co](mailto:Jeffersonmunoz@profesores.uniajc.edu.co). Alex Pérez, Universidad del Valle. [aperezli@banrep.gov.co](mailto:aperezli@banrep.gov.co). Jaime Carabali, Banco W, Colombia. [jaime.carabali@correounivalle.edu.co](mailto:jaime.carabali@correounivalle.edu.co).

# Weather shocks, productivity and performance of manufacturing firms in Colombia<sup>1</sup>

Jefferson Muñoz, Alex Perez, and Jaime Carabali

*The views expressed in this document are the sole responsibility of the authors and do not represent the views of Banco de la República or its Board of Directors.*

## Abstract

In this paper, we study the effect of weather shocks on productivity and firm performance. Over the last decades, the world has faced a notable increase in extreme weather events, which are becoming more frequent and substantial. These weather shocks affect firm productivity, ultimately affecting their performance in the market. We propose an estimation strategy that allows us to quantify these effects. We use data from EAM and climate information from CHIRPS and Copernicus. Our results show evidence that high and low precipitation shocks negatively affect firm productivity. Additionally, a direct relationship exists between firm performance and productivity and precipitation shocks. Finally, we find no evidence that productivity is a channel through which weather shocks affect firm performance.

**Keywords:** *Performance, productivity, weather shocks, manufacturing industry.*

**JEL Classification:** *Q51, Q54, D24, O14, O44*

---

<sup>1</sup>Jefferson Muñoz, Universidad ICESI. [Jefersonmunoz@profesores.uniajc.edu.co](mailto:Jefersonmunoz@profesores.uniajc.edu.co). Alex Perez, Banco de la República. [aperez-li@banrep.gov.co](mailto:aperez-li@banrep.gov.co). Jaime Carabali, Universidad del Valle. [jaime.carabali@correounivalle.edu.co](mailto:jaime.carabali@correounivalle.edu.co).

# 1. Introducción

Durante las últimas décadas, el mundo ha experimentado una mayor frecuencia y fuerza de eventos climáticos extremos (Eckstein et al., 2021; AghaKouchak et al., 2020). Las temperaturas globales han aumentado a un ritmo sin precedentes históricamente, y los eventos de inundaciones y sequías están haciéndose cada vez más frecuentes. Estos eventos tienen consecuencias negativas sobre la actividad económica de los países (Mirza, 2003). Con relación a Colombia, debido a su ubicación en el Pacífico Oriental Ecuatorial, este es un país expuesto a fuertes choques climáticos, por ejemplo, los fenómenos de El Niño y La Niña (Bejarano-Salcedo et al., 2020). Estos fenómenos tienen efectos severos sobre la actividad económica en Colombia, los cuales han sido documentados por Melo et al. (2017). Sus efectos van desde el incremento del nivel general de los precios, afectaciones al nivel de producción, complicaciones en el transporte de la producción, entre otros factores que afectan el nivel de la productividad de los factores de la economía.

Existe una amplia literatura que sostiene que la productividad es un canal a través del cual el clima y el cambio climático afectan el desempeño económico tanto de las empresas como de los países. La relación entre clima y actividad económica se ha abordado tradicionalmente mediante el estudio del impacto de la temperatura media sobre variables económicas agregadas (Gallup et al., 1999; Nordhaus, 2006; Sachs y Warner, 1997). Por ejemplo, Dell et al. (2009) encuentran evidencia de que el ingreso nacional cae un 8.5 % por cada grado Celsius que incrementa la temperatura promedio para un conjunto de países representativos del mundo. Sin embargo, Acemoglu et al. (2002) y Rodrik et al. (2004) sostienen que estas estimaciones son sesgadas, dado que están impulsados por asociaciones de temperatura y otras características nacionales que no están siendo controladas por el econométrico.

Aunque existen objeciones razonables a la forma de cuantificar los efectos del clima sobre la economía, existe un consenso sobre los efectos perversos del cambio climático a la actividad económica. Estos efectos se ven manifestados, en particular, en el menor desempeño de las firmas. Por ejemplo, Pankratz et al. (2023) encuentran evidencia de estos efectos para un conjunto de 17 mil firmas en 93 países, entre los años 1995 y 2019. Los autores encuentran que una mayor exposición a temperaturas extremadamente altas reduce los ingresos de las firmas e impacta negativamente en el desempeño financiero. Estos aspectos negativos del cambio climático en el desempeño de las firmas es motivo de preocupación para los hacedores de política en países en vías de desarrollo, los cuales están altamente expuestos a fuertes variaciones climáticas debido a sus posiciones entre los dos trópicos.

En este trabajo estamos interesados en cuantificar los efectos de los choques climáticos sobre la producción y el desempeño de las firmas de la industria manufacturera colombiana, en particular. Para ello, desarrollamos una estrategia novedosa. Utilizamos datos de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) entre los años 2013 a 2019. Primero, proponemos la estimación de una función de producción para obtener una estimación de la productividad a nivel de establecimiento a partir de los datos de la EAM. Posteriormente, utilizamos datos climáticos de precipitación de CHIRPS y temperatura de Copernicus para calcular la presencia de choques climáticos a nivel de municipio en Colombia. Calculamos los efectos de estos choques climáticos sobre la productividad de los establecimientos de las firmas. Finalmente, estimamos el efecto que tienen la productividad y los choques climáticos sobre algunas medidas relevantes del desempeño de las firmas.

Nuestros resultados muestran que la productividad de las firmas tiende a verse negativamente afectada en presencia de choques climáticos, principalmente choques de precipitación, tanto de exceso de lluvias como de sequías. Aunque en este estudio no exploramos los mecanismos subyacentes que explican esta relación entre productividad y choques climáticos, mencionamos algunos posibles factores que explican la dirección de esta relación. La asociación negativa entre productividad y choques climáticos puede verse explicado por los efectos sobre la salud humana asociados al surgimiento de enfermedades en época de lluvias, como de las enfermedades derivadas de la época de sequías. Adicionalmente, la época de lluvias implica afectaciones en la estructura de carreteras del país, lo cual puede traducirse en una disminución de la productividad de las firmas. Por otro lado, encontramos evidencia de que la productividad tiene una relación directa con las medidas de desempeño de las firmas. Adicionalmente, encon-

tramos evidencia de que los choques de precipitación tienen una relación directa con las medidas de desempeño. Finalmente, nuestra evidencia muestra que la productividad no es un canal a través del cual los choques climáticos afectan el desempeño de las firmas.

Este documento se organiza en 5 secciones. La segunda sección presenta la literatura que relaciona la productividad con las variables climáticas. La tercera sección presenta los datos y la estrategia empírica que seguimos en esta investigación. La cuarta sección presenta los resultados, y la quinta las conclusiones.

## 2. La productividad en la industria y las variables climáticas

Un trabajo pionero en este ámbito es el trabajo de [Palutikof \(1983\)](#) aplicado al caso de la producción industrial en Gran Bretaña en el periodo 1958-1979. En este trabajo, el autor estudia como los eventos climáticos extremos relacionados con veranos fuertes e inviernos severos afectaron la producción industrial. Se identifican como eventos extremos los veranos secos de 1975-1976 y los severos inviernos de 1962-1963 y 1978-1979. Durante estos eventos la producción industrial sufrió una disminución sustancial, la cual, los autores atribuyen a los factores climáticos, descartando factores no climáticos como posibles responsables de la caída en la producción. De igual forma, los autores encuentran diferencias en la afectación del clima a la producción según el tipo de sector. Durante los inviernos severos los sectores más afectados fueron aquellos vinculados al trabajo al aire libre, durante los fuertes veranos fueron los sectores con grandes necesidades de agua.

Evidencia más reciente, y que motivó en buena medida la investigación subsecuente, ha sido encontrada por los trabajos de [Dell et al. \(2012\)](#) y [Burke et al. \(2015\)](#). Estos trabajos encuentran que las temperaturas más altas reducen significativamente el crecimiento económico en los países cálidos y de bajos ingresos. Dado que los países de bajos ingresos se concentran en áreas geográficas con climas más cálidos, [Burke et al. \(2015\)](#) sugieren que un aumento de la temperatura sería particularmente perjudicial para este conjunto de economías. En un estudio más reciente, [Acevedo et al. \(2020\)](#) encuentran que los incrementos de la temperatura tienen efectos negativos sobre la producción en países con climas cálidos. Entre su aporte a la literatura se encuentra que los autores identifican el canal a través del cual se transmite el efecto de la temperatura. Los autores encuentran que los incrementos en la temperatura conllevan una reducción de la inversión, una menor productividad laboral, una peor salud humana y una menor producción agrícola e industrial. Similar a [Dell et al. \(2012\)](#) y [Burke et al. \(2015\)](#), encuentran que los países cálidos y de bajos ingresos sufren los mayores costos. En un país de ingresos medianos bajos, la producción agregada es aproximadamente un 2 por ciento menor y la inversión es aproximadamente un 10 por ciento menor siete años después de un aumento de 1 grado en la temperatura promedio anual. También encuentran que el desarrollo económico, en general, ayuda a proteger a los países de los shocks de temperatura, y las regiones cálidas de los países de altos ingresos sufren en promedio menos daños económicos por el aumento de las temperaturas que las regiones cálidas de los países de bajos ingresos.

Con relación a la evidencia de países particulares, sobre la relación entre el clima y la producción industrial, encontramos los trabajos de [Graff-Zivin y Neidell \(2014\)](#); [Graff-Zivin y Kahn \(2016\)](#); [Schlenker y Roberts \(2009\)](#); [Fisher et al. \(2012\)](#); [Burke y Emerick \(2016\)](#); [Wang et al. \(2018\)](#) para Estados Unidos, [Guiteras \(2009\)](#); [Somanathan et al. \(2021\)](#) para la India, [Feng et al. \(2010\)](#) para México, y [Chen y Yang \(2019\)](#) y [Zhang et al. \(2018\)](#) para China. Destacamos la evidencia encontrada por [Chen y Yang \(2019\)](#) y [Zhang et al. \(2018\)](#). Estos dos trabajos estudian como la producción, la productividad total de los factores y la utilización de insumos para firmas industriales de China se ven afectadas por los cambios en la temperatura. Ambos trabajos utilizan el mismo panel de firmas entre 1998 y 2007. Los trabajos difieren en la construcción de los datos meteorológicos de temperatura, y en las estrategias de identificación de los efectos de la temperatura. Ambos estudios encuentran que la producción y la productividad total de los factores presentan respuestas no lineales a la temperatura, en cambio, la temperatura tiene impactos muy limitados en la utilización de insumos. Los autores encuentran que la producción aumenta linealmente con la temperatura hasta 21-24 C y luego disminuye drásticamente a temperaturas más altas. Adicionalmente, las altas

temperaturas durante el verano tienen mayores efectos perjudiciales sobre la producción en las regiones de bajas temperaturas que en las de altas temperaturas.

Con relación a trabajos aplicados a Colombia destacamos el trabajo de [Salazar \(2017\)](#), el cual utiliza datos de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística del Colombia (DANE), base de datos que nosotros también utilizamos. [Salazar \(2017\)](#) cuantifica el efecto de un aumento de temperatura y precipitación sobre la productividad de los trabajadores en la industria manufacturera colombiana. Los datos climáticos que utilizan tienen como fuente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, encargada del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia. El autor propone un modelo teórico y empírico para su análisis, siguiendo a [Dell et al. \(2009\)](#), donde se analiza la relación entre el clima y la producción por trabajador. Los resultados muestran un efecto negativo de la temperatura y un efecto positivo de la precipitación en la productividad de los trabajadores. A diferencia de [Salazar \(2017\)](#), seguimos una metodología de estimación de funciones de producción para obtener medidas de la productividad de las firmas, la cual es una estrategia de estimación más robusta y rigurosa que la propuesta por [Salazar \(2017\)](#). Adicionalmente, nosotros utilizamos datos climáticos de fuentes satelitales como Copernicus. Las diferencias entre fuentes es la tecnología con la cual se recopila la información. Ambas aportan información sobre el estado del clima en una determinada zona.

### 3. Metodología

#### 3.1. Datos

En este trabajo utilizamos datos de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística del Colombia (DANE). Esta base comprende información a nivel de establecimiento, el cual es una subdivisión al interior de las firmas, por lo cual, disponemos de información de firmas multi-planta. Utilizamos datos en el periodo 2013 a 2019. Contamos con información sobre el sector CIIU a 4 dígitos al cual pertenece el establecimiento, las ventas totales del establecimiento, el número de trabajadores permanentes y temporales, el total de activos fijos, los sueldos y prestaciones que pagan por los trabajadores, la inversión bruta en capital, el consumo de materias primas y de electricidad. Adicionalmente, contamos con información sobre la participación en mercados externos, como son el porcentaje de compras de insumos al exterior, el cual es una medida del estatus importador de la firma, y el porcentaje de las ventas que son hechas en el exterior, el cual es una medida del estatus exportador de la firma.

En la Tabla 1 presentamos el número de establecimientos por sector económico CIIU a dos dígitos, para cada año. Destacamos que el número de establecimientos totales ha decrecido con el paso del tiempo, pasando de 8775 a 7190 en 7 años. Con relación a los sectores más grandes por número de establecimientos destacamos el sector de productos alimenticios, prendas de vestir, productos de caucho y plástico, productos elaborados de metal, los cuales tienen más de 500 establecimientos durante el periodo de 7 años. Los sectores con menos establecimientos son el de productos informáticos, electrónicos y ópticos, el cual para los dos últimos años no tiene establecimientos. Los cuales tienen menos de 100 establecimientos durante el periodo de 7 años.

En la Tabla 2 presentamos algunas descriptivas de características relevantes de los establecimientos, para el año inicial y final de nuestro periodo de estudio. Adicionalmente, clasificamos los establecimientos por tamaño, donde pequeños son aquellos que cuentan con menos de 50 empleados, medianos son aquellos que cuentan con entre 50 y 200 empleados, y grandes son aquellos que cuentan con más de 200 empleados. En este caso, por empleados nos referimos a la suma de los permanentes y los temporales. De la Tabla 2 destacamos que los establecimientos más pequeños tienen, en promedio, un mayor ROA, pagan un menor sueldo por trabajador, tienen menores activos fijos e inversión bruta, y participan menos del comercio internacional. Por otro lado, los establecimientos más grandes pagan en promedio mayores sueldos, tienen más activos fijos e inversión bruta, y participan más del comercio in-

**Tabla 1:** Número de establecimientos por sector económico

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
<b>CIU</b>								
10	Productos alimenticios	1571	1542	152	1462	144	1404	1377
11	Bebidas	94	90	85	112	111	70	70
13	Productos textiles	283	269	258	266	252	241	232
14	Prendas de vestir	920	900	861	827	806	766	717
15	Curtido y fabricación de artículos de cuero	306	291	278	326	304	271	251
16	Productos de madera y de corcho	160	186	176	167	162	146	133
17	Papel, cartón y productos de papel y cartón	142	128	125	138	133	120	118
18	Impresión y producción de copias	495	497	473	417	393	372	356
19	Refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles	64	55	51	69	65	64	67
20	Sustancias y productos químicos	542	523	508	523	527	519	522
21	Productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales	199	198	196	191	181	174	168
22	Productos de caucho y de plástico	727	709	690	668	647	614	606
23	Otros productos minerales no metálicos	467	486	443	469	473	442	421
24	Productos metalúrgicos básicos	160	151	160	155	144	132	130
25	Productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	669	655	623	600	586	555	526
26	Productos informáticos, electrónicos y ópticos	11	11	11	17	13		
27	Aparatos y equipo eléctrico	171	160	158	173	167	170	153
28	Maquinaria y equipo n.c.p.	508	478	464	393	354	333	330
29	Vehículos automotores, remolques y semirremolques	184	179	158	165	158	145	138
30	Otros tipos de equipo de transporte	28	30	28	27	28	27	22
31	Muebles, colchones y somieres	446	399	367	343	325	319	295
32	Resto de la industria	628	601	662	431	445	571	558
<b>Total</b>		<b>8775</b>	<b>8563</b>	<b>8320</b>	<b>7939</b>	<b>7714</b>	<b>7455</b>	<b>7190</b>

ternacional.

**Tabla 2:** Características de los establecimientos

	2013			2019		
	Pequeña	Mediana	Grande	Pequeña	Mediana	Grande
<i>Promedio</i>						
ROA (Ventas/Activos)	6,04	4,48	5,23	6,34	5,73	3,16
Número de trabajadores	19,26	97,42	380,28	20,73	99,36	378,24
Sueldo por trabajador (Millones de COP)	14,73	20,00	23,55	16,60	21,18	24,11
Activos fijos (Millones de COP)	2283,49	26232,57	99087,24	3175,39	24196,38	107491,80
Inversión bruta (Millones de COP)	123,88	1727,36	6907,84	240,06	2008,16	12818,37
<i>Porcentaje</i>						
% Materias primas/Ventas totales	45,19	44,33	47,64	55,74	43,53	44,32
% Materias primas exterior/Materias primas	3,90	13,23	21,05	4,38	13,72	24,27
% Ventas en el exterior/Ventas totales	3,54	8,58	12,69	4,16	9,18	14,55

Con relación a la información climática, utilizamos datos satelitales de Copernicus sobre temperatura y de CHIRPS

para precipitación para el periodo 1981-2019. Los datos de Copernicus, suministrados de forma pública por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio, tienen información a nivel de grillas de 30 km, y ofrecen información sobre aspectos climáticos como precipitación total, temperatura, evapotranspiración, radiación solar, presión atmosférica y presencia de nevadas. Los datos de CHIRPS están aun nivel de grilla de 5 km y permiten tener medidas de la precipitación en mm por grilla. A partir de los archivos *shapefile* para Colombia, se pueden agregar los datos climáticos a nivel de departamento con frecuencia diaria, desde 1981 hasta 2019.

Para calcular los choques climáticos seguimos la estrategia diseñada por [Otero-Cortés y Bohorquez-Penuela \(2020\)](#) y [Galindo \(2023\)](#). Los choques climáticos capturan comportamientos extremos en el clima. Nosotros identificamos comportamientos anómalos en el clima de un departamento en el periodo 2013-2019, utilizando información histórica del periodo 1981-2012. Para identificar choques en precipitación, nosotros calculamos la precipitación acumulada mensual en los años 1981-2012 y definimos los percentiles 90 y 10, para cada departamento y cada uno de los 12 meses del año, esto es, tenemos los umbrales para cada departamento-mes del año. Esto con el objetivo de tener en cuenta la estacionalidad de las lluvias. Para identificar choques en temperatura utilizamos los datos con frecuencia diaria y definimos los percentiles 90 y 10 en el periodo 1981-2012. Posteriormente, para los años 2013-2019 definimos la presencia de un choque en precipitación cuando ocurre que el nivel de la precipitación estuvieron por encima del percentil 90 (choque alto) o por debajo del percentil 10 (choque bajo), para cada departamento en cada mes. Para la temperatura nosotros calculamos el número de días que estuvieron por encima del percentil 90 (choque alto) o por debajo del percentil 10 (choque bajo), para cada departamento. Como ejercicio de robustez también calculamos los percentiles 80 y 20, y definimos choques con estos.

## 3.2. Estrategia empírica

### 3.2.1. Función de producción

En esta sección se explica el método utilizado para estimar la función de producción de la industria colombiana y posteriormente obtener la productividad a nivel de establecimiento. Este método va en línea con [Levinsohn y Petrin \(2003\)](#) (LP de ahora en adelante). Siguiendo a [Balat y Casas \(2018\)](#), se asume que el mercado del bien final y los factores de producción es de competencia perfecta, y que la función de producción es tipo Cobb-Douglas:

$$Q_{it} = K_{it}^{\beta_k} L_{it}^{\beta_l} M_{it}^{\beta_m} E_{it}^{\beta_e} \exp[w_{it}], \quad (1)$$

donde  $Q_{it}$  es la producción del establecimiento  $i$  en el año  $t$  (medida a través de las ventas reales),  $K_{it}$  es el capital (medido a través del valor de los activos fijos),  $L_{it}$  es la cantidad de trabajadores,  $M_{it}$  el consumo de materias primas,  $E_{it}$  el consumo de energía eléctrica, y  $w_{it}$  es la productividad del establecimiento. Para utilizar el método de LP, se requieren algunos supuestos sobre los factores de producción y la productividad:

**Supuesto de factores variables:** Se asume que el trabajo, los materiales y la energía eléctrica son factores variables, es decir, no tienen costos de ajuste. Esto implica que, la demanda de estos factores en el periodo  $t$  solo afecta las ganancias del establecimiento de este periodo. En otras palabras, los factores son estáticos.

**Supuesto de factores no variables:** Se supone que el factor capital es dinámico, es decir, tiene costos de ajuste. En específico, se supone que la inversión en capital que realiza el establecimiento en un año aumenta el capital del año siguiente:

$$K_{i,t+1} = (1 - \delta)K_{it} + I_{it}. \quad (2)$$

donde  $I$  es la inversión del establecimiento  $i$  en el año  $t$  y  $\delta$  es la tasa de depreciación. Es decir, el capital del establecimiento en el presente corresponde al capital del año anterior (deduciendo la depreciación) más la inversión. Esto implica que el establecimiento no puede cambiar su nivel de capital de manera instantánea y, al contrario, debe

esperar todo un año para comprar e instalar nueva maquinaria.

**Supuestos sobre la productividad:** Primero, la productividad se divide en dos componentes:

$$w_{it} = \omega_{it} + \epsilon_{it}, \quad (3)$$

donde  $\omega_{it}$  es el componente de la productividad previsto por el establecimiento, y por lo tanto, observable antes de tomar su decisión de demanda de factores para maximizar ganancias. Mientras que,  $\epsilon_{it}$  es el componente impredecible y solamente observable por el establecimiento después de que tomó sus decisiones para maximizar las ganancias de un periodo. Lo anterior implica que, en el proceso de maximización intertemporal,  $\exp[\omega_{it}]$  es una variable de estado y  $\exp[\epsilon_{it}]$  una variable puramente aleatoria que se iguala a su valor esperado.

Además, se supone que el componente predecible sigue un proceso de Markov de primer orden:

$$\omega_{it} = \phi(\omega_{i,t-1}) + \xi_{it}. \quad (4)$$

donde  $\phi(\cdot)$  es una función desconocida para el econométrista pero observable para los establecimiento y  $\xi_{it}$  es una innovación ruido blanco. Dado que  $\omega_{it}$  es plenamente observable para el establecimiento antes de tomar sus decisiones, la innovación  $\xi_{it}$  se materializa al inicio del año de operación (antes de que el establecimiento determine cuánto demandar de cada factor).

Todos los supuestos implican el siguiente timing en las decisiones de los establecimiento

1. Al inicio del periodo el establecimiento observa su nivel de capital, el cual se determinó en el periodo anterior.
2. También, al inicio del periodo, el establecimiento observa  $\xi_{it}$  y utiliza la formula  $\omega_{it} = \phi(\omega_{i,t-1}) + \xi_{it}$  para obtener  $\omega_{it}$ .
3. Con base en las variables  $K_{it}$  y  $\omega_{it}$  el establecimiento maximiza las ganancias del periodo escogiendo de manera óptima los factores variables.
4. Con base en el proceso markoviano de la productividad, el establecimiento predice su productividad a futuro, y a partir de esta predicción escoge óptimamente su nivel de inversión del periodo actual, la cual determina el nivel de capital del periodo siguiente.

Dos hechos claves se deducen de este timing: i) los factores variables son endógenos, pues dependen de la productividad y esta no es observable en los datos (sesgo por variable omitida), el factor dinámico es una variable predeterminada e independiente del choque impredecible  $\epsilon_{it}$  y la innovación  $\xi_{it}$ . En consecuencia, log-linealizar la función de producción y estimarla por MCO produce estimadores sesgados e inconsistentes. Para sortear este problema de endogeneidad, se utiliza el método de estimación sugerido por LP, el cual se basa en los supuestos anteriores y explota el timing del establecimiento para producir estimaciones consistentes.

Log-linealizando la función de producción (las minúsculas indican variables en logaritmos):

$$q_{it} = \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_e e_{it} + w_{it} \quad (5)$$

$$q_{it} = \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_e e_{it} + \omega_{it} + \epsilon_{it}. \quad (6)$$

Como se mencionó anteriormente, la demanda de factores variables depende de la productividad y el capital. En el caso de los materiales:

$$m_{it} = f(k_{it}, \omega_{it}), \quad (7)$$

donde la función  $f(\cdot)$  es no conocida, pero, se supone que es monótona creciente en  $\omega_{it}$  (aumento en la productividad siempre implican aumentos en la demanda de materiales), entonces:

$$\omega_{it} = f^{-1}(k_{it}, m_{it}) \quad (8)$$

es decir, la productividad se puede expresar en términos de la demanda de un factor variable y el capital. Reemplazando esto en la función de producción

$$q_{it} = \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_e e_{it} + f^{-1}(k_{it}, m_{it}) + \epsilon_{it}. \quad (9)$$

$$q_{it} = \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + h(k_{it}, m_{it}) + \epsilon_{it}. \quad (10)$$

donde

$$h(k_{it}, m_{it}) = \beta_k k_{it} + \beta_m m_{it} + f^{-1}(k_{it}, m_{it}). \quad (11)$$

Esta forma de la función de producción tiene como término de error al choque  $\epsilon_{it}$ , el cual es independiente de los factores de producción, por lo cual, MCO aplicado a esta ecuación es consistente. No obstante, la función  $f^{-1}(k_{it}, m_{it})$  no es conocida y los parámetros del capital y los materiales no son identificables, pues están contenidos en la función  $h(k_{it}, m_{it})$ . El primer problema se soluciona aproximando la función  $h(k_{it}, m_{it})$  mediante series de Taylor (como es usual en la literatura, se utiliza un polinomio de orden 3):

$$h(k_{it}, m_{it}) \approx \sum_{a=0}^3 \sum_{b=0}^{3-a} \delta_{ab} k_{it}^a m_{it}^b. \quad (12)$$

Por lo cual,

$$q_{it} = \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + \sum_{a=0}^3 \sum_{b=0}^{3-a} \delta_{ab} k_{it}^a m_{it}^b + \epsilon_{it}. \quad (13)$$

por tanto, MCO aplicado a esta ecuación produce estimaciones consistentes de  $\beta_l$ ,  $\beta_e$  y la función  $h(k_{it}, m_{it})$ . Sin embargo, hasta aquí no se han podido identificar los parámetros del capital y los materiales. Para esto, se lleva a cabo una segunda etapa, que explota el timing de decisiones del establecimiento y el método de estimación GMM (el estimador generalizado de los momentos). Los pasos son los siguientes:

1. Se parte de un valor inicial de  $\beta_k$  y  $\beta_m$  y se construye la productividad

$$\widehat{\omega}_{it} = \widehat{h}(k_{it}, m_{it}) - \beta_k^0 k_{it} + \beta_m^0 m_{it}. \quad (14)$$

2. Se estima la ecuación de la productividad mediante MCO

$$\omega_{it} = \phi(\omega_{i,t-1}) + \xi_{it} \quad (15)$$

como la función  $\phi(\cdot)$  es desconocida, se aproxima mediante una serie de Taylor de tercer orden

$$\omega_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \omega_{i,t-1} + \alpha_2 \omega_{i,t-1}^2 + \alpha_3 \omega_{i,t-1}^3 + \xi_{it} \quad (16)$$

y se recupera la suma de la innovación  $\xi_{it}$  y el choque  $\epsilon_{it}$ .

$$(\widehat{\xi_{it} + \epsilon_{it}}) = q_{it} - \beta_k^0 k_{it} - \beta_m^0 m_{it} - \beta_l l_{it} - \beta_e e_{it} - \widehat{h}(\omega_{i,t-1}). \quad (17)$$

3. Debido al timing del establecimiento,  $\xi_{it} + \epsilon_{it}$  no está correlacionado con  $k_{it}$  y  $m_{i,t-1}$ .  $k_{it}$  y  $m_{i,t-1}$  se determinan en  $t-1$  y  $\xi_{it} + \epsilon_{it}$  son observados por el establecimiento en el periodo  $t$ , y son impredecibles en  $t-1$ . Esto se utiliza para construir las siguientes condiciones de momentos:

$$E[\xi_{it} + \epsilon_{it}|k_{it}] = 0 \quad (18)$$

$$E[\xi_{it} + \epsilon_{it}|m_{i,t-1}] = 0. \quad (19)$$

Se construye la siguiente función escalar

$$F_{GMM} = \sum_p \left( \sum_{it} (\widehat{\xi_{it} + \epsilon_{it}}) Z_{pit} \right)^2 \quad (20)$$

donde  $Z_{pit} = (k_{it}, m_{i,t-1})$ .

4. Se vuelve al paso 1 y se repite el proceso iterando los valores de  $\beta_k$  y  $\beta_m$  hasta minimizar la función  $F_{GMM}$ . Los errores estándar de  $\widehat{\beta}_k$  y  $\widehat{\beta}_m$  se obtienen mediante bootstrapping.

Una vez se obtienen los estimadores de los parámetros de los factores de producción, la productividad en logaritmos se obtiene como  $\widehat{w}_{it} = q_{it} - (\widehat{\beta}_k k_{it} + \widehat{\beta}_l l_{it} + \widehat{\beta}_m m_{it} + \widehat{\beta}_e e_{it})$ .

### 3.2.2. Productividad y choques climáticos

Para modelar la relación entre la productividad y las variables climáticas, seguimos una estrategia diferente de la propuesta por [Salazar \(2017\)](#). Nosotros proponemos una estructura en la cual la productividad depende de los choques climáticos, y no del nivel actual de las variables. Para [Salazar \(2017\)](#), las variables relevantes eran el nivel de temperatura y precipitaciones, para nosotros son los choques con relación al histórico las que tienen un efecto sobre la productividad. En la literatura sobre choques climáticos, el efecto de los choques tiene una naturaleza diferente al efecto de nivel, y la ocurrencia de estos explica en buena medida las variaciones de la productividad ([Gray et al., 2023](#)).

De esta forma, estudiamos el efecto que tienen los choques climáticos sobre la productividad  $w$  del establecimiento  $i$  en el periodo  $t$  con el siguiente modelo econométrico:

$$\ln w_{it} = x'_{it} \lambda + \gamma_1 \ln t_{dt}^{max} + \gamma_2 \ln t_{dt}^{min} + \gamma_3 \ln p_{dt} + \delta_1 p_{dt}^{alta} + \delta_2 p_{dt}^{baja} + \delta_3 t_{dt}^{alta} + \delta_4 t_{dt}^{baja} + \theta_i + \theta_s + \epsilon_{it}, \quad (21)$$

donde  $x$  son controles relevantes (número de trabajadores y estatus exportador o importador de la firma) que explican la productividad del establecimiento  $i$  en el año  $t$ .  $t^{max}$  y  $t^{min}$  miden la temperatura máxima y mínima promedio, y  $p$  mide la precipitación anual acumulada, para el departamento  $d$  en el año  $t$ .  $p^{alta}$  mide la proporción de meses del año en que el departamento  $d$  tuvo una precipitación acumulada mensual por encima del percentil 90 del histórico.  $t^{alta}$  mide la proporción de días del año en que el departamento  $d$  tuvo una temperatura por encima del percentil 90 del histórico. De forma similar,  $p^{baja}$  y  $t^{baja}$  miden el choque climático para el departamento  $d$  en los eventos donde la precipitación y la temperatura máxima estuvieron por debajo del percentil 10 del histórico. Estas variables miden el grado de exposición a choques climáticos en el año  $t$  de un establecimiento  $i$  ubicada en un departamento  $d$ . Debido a las limitaciones de la EAM, no podemos conocer con precisión el municipio en que se encuentra el establecimiento  $i$ , pero conocemos el departamento en el cual se encuentra ubicada el establecimiento.  $\theta$  son vectores de efectos fijos de establecimiento ( $i$ ), y sector CIU ( $s$ ). Finalmente,  $\epsilon$  es un término de error aleatorio. La ecuación 21 se estima por MCO y los errores estándar se corrigen por cluster a nivel de firma.

### 3.2.3. Desempeño y productividad

Para modelar la relación entre el desempeño de las firmas y la productividad proponemos el siguiente modelo econométrico:

$$y_{it} = \alpha w_{it} + x'_{it}\beta + \theta_i + \theta_s + \theta_t + \varepsilon_{it}, \quad (22)$$

donde  $y$  es una medida del desempeño del establecimiento  $i$ , para el cual nosotros utilizamos las siguientes: el ROA (rentabilidad sobre los activos), la inversión bruta por trabajador, el valor agregado por trabajador, y los activos fijos por trabajador.  $x$  son controles relevantes que explican el desempeño del establecimiento  $i$  en el año  $t$ . Finalmente,  $\theta$  son vectores de efectos fijos de establecimiento, sector CIUU y de año, y  $\varepsilon$  es un término de error aleatorio. La ecuación 22 se estima por MCO y los errores estándar se corrigen por cluster a nivel de firma.

La ecuación 22 es una aproximación que asume que los choques climáticos tienen un efecto sobre el desempeño de las firmas únicamente a través de la productividad. Sin embargo, es posible que estos tengan un efecto directo sobre el desempeño de las firmas. Para contrastar esta hipótesis proponemos como variable explicativa del desempeño los choques climáticos, por lo cual, tendríamos el siguiente modelo:

$$y_{it} = \alpha w_{it} + x'_{it}\beta + \gamma_1 \ln t_{dt}^{max} + \gamma_2 \ln t_{dt}^{min} + \gamma_3 \ln p_{dt} + \delta_1 p_{dt}^{alta} + \delta_2 p_{dt}^{baja} + \delta_3 t_{dt}^{alta} + \delta_4 t_{dt}^{baja} + \theta_i + \theta_d + \theta_s + \theta_t + \varepsilon_{it}. \quad (23)$$

## 4. Resultados

En esta sección presentamos los resultados de esta investigación. Primero, discutimos los resultados asociados a la estimación de la función de producción, los cuales nos permiten obtener estimados de la productividad de las firmas. Luego, utilizamos estos estimados como insumo para estudiar la relación entre la productividad y los choques climáticos. Finalmente, discutimos como se relaciona el desempeño de las firmas con la productividad y los choques climáticos.

En la Tabla 3 presentamos los resultados de la estimación de la función de producción. En la Columna 1 presentamos la estimación de la ecuación 6 por MCO sin incluir efectos fijos ni controlar por productividad, en la Columna 2 añadimos efectos fijos, y en la Columna 3 utilizamos la metodología de Levinsohn-Petrin (LP) para estimar la ecuación 6 controlando por la productividad. Los errores estándar son corregidos por clúster a nivel de firma en las Columnas 1 y 2, y en la Columna 3 utilizamos bootstrapping.

De acuerdo con la Columna 1 de la Tabla 3, la elasticidad producto del factor trabajo es 30 %, 14.4 % para el capital, 49.2 % para los materiales y 9.1 % para la electricidad. En cambio, los otros dos métodos sugieren que la elasticidad del trabajo está levemente por debajo de 30 %, es aproximadamente igual a 10 % para el capital, y es cercana a 15 % para la electricidad. El estimador de efectos fijos y de LP solo son notablemente diferentes en la elasticidad de las materias primas. El primero sugiere que esta elasticidad es 37 % y el segundo que es 57.4 %. Estos resultados sugieren una alta importancia relativa de los factores trabajo y materiales, frente a los factores capital y electricidad. De hecho, bajo el método de LP, la elasticidad del capital es casi 3 veces menos a la del trabajo, y 5 veces menor a la de los materiales. Es importante mencionar que, independientemente del método de estimación, los rendimientos a escala de la función de producción de la industria colombiana son aproximadamente constantes. En específico, son levemente decrecientes a escala cuando estima por efectos fijos, y levemente crecientes a escala cuando se estiman por los métodos por MCO y LP.

**Tabla 3:** Función de producción

	(1)	(2)	(3)
	MCO		Levinsohn-petrin
	Log Ventas	Log Ventas	Log Ventas
Log Trabajadores	0.306*** (0.0151)	0.298*** (0.0129)	0.296*** (0.00667)
Log Activos fijos	0.144*** (0.00693)	0.0980*** (0.00664)	0.101*** (0.0152)
Log Materias primas	0.492*** (0.0144)	0.370*** (0.0150)	0.574*** (0.0227)
Log Electricidad	0.0918*** (0.00720)	0.145*** (0.0120)	0.0670*** (0.00485)
EF Firma	No	Si	
EF CIIU	No	Si	
EF Año	No	Si	
Observaciones	54,704	54,144	54,704
R-cuadrado	0.911	0.978	

Nota: Errores estándar entre paréntesis. Para las columnas 1 y 2 se calculan corregidos por cluster a nivel de firma, y para la columna 3 es por bootstrapping.

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

#### 4.1. Productividad y choques climáticos

En este apartado mostramos los resultados de estimar la ecuación 21 que relaciona la productividad con los choques climáticos. La Tabla 4 resume estos resultados. En la Columna 1 estimamos la relación entre la productividad y algunos controles relevantes como son el tamaño del establecimiento, medido por el número de trabajadores en logs, y los estatus importador y exportador, medido por el porcentaje de compras de insumos que son importados y ventas que son hechas al extranjero. En las Columnas 2 y 3 añadimos las variables climáticas y los choques climáticos de alta y baja precipitación y temperatura, a 90 % y 10 %, como a 80 % y 20 %, respectivamente.

Los resultados de la Tabla 4 muestran que los establecimientos más grandes, tienden a ser en promedio menos productivos. Adicionalmente, las firmas que exportan tienden a tener, en promedio, una mayor productividad. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Balat y Casas (2018). Con relación a las variables climáticas, encontramos evidencia de una relación directa entre la temperatura máxima, que es una medida de la temperatura en el día, con la productividad. Adicionalmente, para los choques climáticos encontramos evidencia de que estos tienden a afectar negativamente o positivamente la productividad de las firmas. Los choques de alta y baja precipitación son negativos para la productividad, estos resultados son robustos a la forma en que definimos el choque. Los choques alta temperatura tienen un efecto positivo y los de baja temperatura in efecto positivo, sin embargo, estos no son robustos a la forma en que definimos el choque.

Con relación a los mecanismos de transmisión de los choques climáticos a la productividad, destacamos aquellos relacionados con el estado de la infraestructura y logística de transporte, el estado de salud de los trabajadores, y el nivel general de los precios en la economía (Mejia et al., 2018). Los efectos negativos encontrados para choques

**Tabla 4:** Productividad y choques climáticos

	(1) Log Productividad	(2) Log Productividad	(3) Log Productividad
Log Trabajadores	-0.109*** (0.00832)	-0.108*** (0.00833)	-0.109*** (0.00833)
Estatus importador	-0.000143 (0.000210)	-0.000138 (0.000210)	-0.000140 (0.000210)
Estatus exportador	0.000835** (0.000329)	0.000854*** (0.000330)	0.000846** (0.000329)
Temperatura máxima	1.119*** (0.246)	1.817*** (0.407)	1.875*** (0.678)
Temperatura mínima	-0.540*** (0.154)	-0.206 (0.344)	-0.398 (0.290)
Precipitación acumulada	0.0418** (0.0197)	-0.0229 (0.0338)	-0.000408 (0.0309)
Choque de precipitación sobre 90 %		-0.0697** (0.0339)	
Choque de temperatura sobre 90 %		-0.154** (0.0619)	
Choque de precipitación bajo 10 %		-0.0658*** (0.0219)	
Choque de temperatura bajo 10 %		0.421* (0.241)	
Choque de precipitación sobre 80 %			-0.0428* (0.0258)
Choque de temperatura sobre 80 %			-0.0877 (0.0881)
Choque de precipitación bajo 20 %			-0.0555** (0.0221)
Choque de temperatura bajo 20 %			0.256 (0.157)
Observaciones	45,455	45,455	45,455
R-cuadrado	0.734	0.734	0.734

Nota: Errores estándar corregidos por clúster a nivel de firma entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen efectos fijos de establecimiento y sector CIIU.

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

de alta precipitación están relacionados con los efectos sobre la productividad en general de los derrumbes y el mal estado de las vías para el transporte de insumos y productos (Burgess y Donaldson, 2010), junto con la aparición de enfermedades respiratorias que afectan la salud de los trabajadores (Meierrieks, 2021). Por el lado de la baja precipitación, esta suele ir acompañada de periodos de sequías los cuales afectan la salud e los trabajadores y tienen un efecto general en la economía relacionado con el incremento de precios de alimentos y la energía (Romero y Naranjo-Saldarriaga, 2024; Abril-Salcedo et al., 2020). Sin embargo, debido a la limitación de datos no podemos contrastar el rol de estos diferentes mecanismos.

A diferencia de Chen y Yang (2019) y Zhang et al. (2018), nosotros estimamos la productividad de las firmas de

forma directa, el cual es un canal relevante por el cual se transmiten los choques climáticos al desempeño de las firmas. Dado que la productividad corresponde con la parte de la variación en la producción que no es explicada por los factores de producción y no es ruido aleatorio, estamos estimando la respuesta frente a las variaciones climáticas extremas de aquellos componentes inobservables de la firma relacionados con la organización interna, la capacidad de gestión de sus gerentes, las tecnologías utilizadas y habilidades de sus trabajadores. Adicionalmente, nuestro trabajo no se enfoca únicamente en los aspectos relacionados con la temperatura como [Chen y Yang \(2019\)](#) y [Zhang et al. \(2018\)](#). Aborda la cuestión de los efectos de la precipitación, los cuales son relevantes dado que esta tiene efectos sobre el transporte, la salud humana, la producción de alimentos, y otros aspectos que, en la vasta red de intercambios entre agentes en un mercado, terminan teniendo efectos agregados que impactan el desempeño de las firmas.

## 4.2. Productividad y desempeño de las firmas

En este apartado mostramos los resultados de estimar la ecuación 22 que relaciona algunas medidas del desempeño de las firmas con la productividad y los choques climáticos. Entre las medidas de desempeño que estamos utilizando se encuentran el ROA en logs, la inversión por trabajador, el valor agregado por trabajador, y los activos fijos por trabajador. En la Tabla 5 presentamos un resumen de estos resultados. Las Columnas 1-4 muestran la estimación de la relación entre las medidas de desempeño, la productividad y el estatus exportador e importador. Esto nos permite evaluar la relación entre el desempeño y los choques climáticos de forma indirecta a través de su relación con la productividad. En las Columnas 5-8 añadimos las variables climáticas y los choques climáticos, de tal forma que se estudia si existe un efecto directo del clima y sus choques sobre el desempeño, diferente al efecto que se da a través de la productividad.

**Tabla 5:** Productividad y desempeño de las firmas

	(1) Log ROA	(2) Log Inversion	(3) Log Valor agregado	(4) Log Activos	(5) Log ROA	(6) Log Inversion	(7) Log Valor agregado	(8) Log Activos
Log Productividad	0.140*** (0.0174)	0.122*** (0.0438)	0.214*** (0.0182)	-0.0226* (0.0132)	0.140*** (0.0174)	0.121*** (0.0439)	0.213*** (0.0182)	-0.0227* (0.0132)
Tamaño mediano	0.0441* (0.0260)	0.0618 (0.0580)	-0.0186 (0.0263)	-0.143*** (0.0295)	0.0417 (0.0260)	0.0604 (0.0581)	-0.0181 (0.0263)	-0.140*** (0.0295)
Tamaño grande	-0.00800 (0.0493)	0.240*** (0.0913)	-0.0172 (0.0496)	-0.156*** (0.0572)	-0.0115 (0.0493)	0.238*** (0.0914)	-0.0158 (0.0496)	-0.151*** (0.0571)
Temperatura máxima					2.378** (1.162)	0.868 (3.435)	-1.699 (1.133)	-3.608*** (1.156)
Temperatura mínima					-1.444 (0.939)	2.243 (2.401)	2.785*** (0.944)	3.099*** (0.924)
Precipitación acumulada					0.120* (0.0673)	0.151 (0.226)	0.204*** (0.0719)	-0.0338 (0.0674)
Choque de precipitación sobre 90 %					-0.132 (0.0889)	0.576** (0.274)	0.0487 (0.0903)	0.118 (0.0877)
Choque de temperatura sobre 90 %					0.00476 (0.182)	-0.145 (0.535)	0.153 (0.169)	0.115 (0.178)
Choque de precipitación bajo 10 %					0.151*** (0.0532)	-0.0902 (0.164)	0.171*** (0.0539)	-0.0577 (0.0514)
Choque de temperatura bajo 10 %					-0.421 (0.513)	0.855 (1.584)	0.541 (0.573)	0.754 (0.501)
Observaciones	44,255	28,905	44,254	44,255	44,255	28,905	44,254	44,255
R-cuadrado	0.824	0.577	0.792	0.886	0.825	0.578	0.792	0.886

Nota: Errores estándar corregidos por clúster a nivel de firma entre paréntesis. La variable productividad está rezagada un año. Las variables de las columnas 2-5 y 7-10 se miden como el cociente con el número de trabajadores. Todas las regresiones incluyen efectos fijos de establecimiento, sector CIU y año.

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Los resultados de la Tabla 5 muestran que existe una relación directa entre la productividad y algunas medidas del desempeño de las firmas, como son el ROA, la inversión por trabajador, y el valor agregado por trabajador. Sin embargo, con los activos fijos por trabajador la productividad tiene una relación inversa. Estos resultados muestran que las firmas más productivas tienden a tener un mejor desempeño, sin embargo, la relación no es robusta a todas

las formas de medir el desempeño. Por el lado del tamaño, encontramos evidencia de que las firmas de tamaño grande tienen un mayor desempeño con relación a la inversión por trabajador que las firmas de tamaño pequeño y mediano. Sin embargo, con relación a los activos fijos por trabajador, encontramos que las firmas de tamaño grande y mediano tienen menores niveles de esta medida que las firmas pequeñas.

Con relación a las variables climáticas encontramos una relación directa entre las medidas climáticas de temperaturas y precipitación con las medidas de desempeño. Cuando analizamos la relación con los choques climáticos, nuestros resultados muestran que los choques de alta y baja precipitación tienen un efecto positivo sobre las medidas de desempeño. Adicionalmente, la magnitud del coeficiente estimado de la productividad no cambia cuando incluimos las medidas climáticas, lo cual es evidencia de que el canal a través del cual los choques climáticos afectan el desempeño de las firmas no es la productividad. Si fuese de esta forma, al incluir los choques climáticos, el coeficiente estimado para productividad debería disminuir, evidenciando que parte del efecto de la productividad se debe a los choques climáticos.

## 5. Conclusiones

La evidencia encontrada en este trabajo señala la importancia que tienen los eventos climáticos extremos sobre la productividad y el desempeño de las firmas. El desempeño de las firmas, el cual puede ser medido a través de un conjunto de variables relevantes, está asociado de forma directa con la productividad. La productividad es una medida inobservable en los datos que recoge aspectos como las ventajas tecnológicas y organizativas de las firmas para producir bienes finales, condicional en el nivel de los insumos utilizados. Adicionalmente, encontramos evidencia de que la productividad tiende a verse afectada de forma negativa en presencia de choques climáticos, particularmente choques de precipitación alta y baja. Cuando analizamos la relación del desempeño con los choques climáticos, nuestros resultados muestran que los choques de alta y baja precipitación tienen un efecto positivo sobre las medidas de desempeño. Adicionalmente, la magnitud del coeficiente estimado de la productividad no cambia cuando incluimos las medidas climáticas, lo cual es evidencia de que el canal a través del cual los choques climáticos afectan el desempeño de las firmas no es la productividad.

Los resultados que encontramos están sujetos a la técnica de estimación de la función de producción que utilizamos, la cual depende de un conjunto de supuestos sobre la forma funcional y el comportamiento de las firmas en los mercados de producto e insumos. Futuras investigaciones pueden abrirse paso estimando formas más robustas de la función de producción que nosotros utilizamos, y métodos que relajen algunos de los supuestos realizados. Adicionalmente, nosotros utilizamos una única fuente de información climática. Futuros trabajos pueden complementar la información con diferentes fuentes, como pueden ser estaciones meteorológicas de IDEAM, o información climática de CHIRPS.

## Referencias

- Abril-Salcedo, D. S., Melo-Velandia, L. F., y Parra-Amado, D. (2020). Nonlinear relationship between the weather phenomenon El niño and Colombian food prices. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 64(4):1059–1086.
- Acemoglu, D., Johnson, S., y Robinson, J. A. (2002). Reversal of fortune: Geography and institutions in the making of the modern world income distribution. *Quarterly journal of economics*, 117(4):1231–1294.
- Acevedo, S., Mrkaic, M., Novta, N., Pugacheva, E., y Topalova, P. (2020). The effects of weather shocks on economic activity: what are the channels of impact? *Journal of Macroeconomics*, 65:103207.
- AghaKouchak, A., Chiang, F., Huning, L. S., Love, C. A., Mallakpour, I., Mazdiyasn, O., y Sadegh, M. (2020). Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48:519–548.

- Balat, J. y Casas, C. (2018). Firm Productivity and Cities: The Case of Colombia. *Borradores de Economía*. No. 1032. Banco de la República, Bogotá, D.C.
- Bejarano-Salcedo, V., Caicedo-García, E., Lizarazo-Bonilla, N. F., Julio-Román, J. M., y Cárdenas-Cárdenas, J. A. (2020). Hechos estilizados de la relación entre El Niño, La Niña y la inflación en Colombia. *Borradores de Economía*. No. 1105. Banco de la Republica de Colombia.
- Burgess, R. y Donaldson, D. (2010). Can openness mitigate the effects of weather shocks? Evidence from India's famine era. *American Economic Review*, 100(2):449–453.
- Burke, M. y Emerick, K. (2016). Adaptation to climate change: Evidence from US agriculture. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(3):106–140.
- Burke, M., Hsiang, S. M., y Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577):235–239.
- Chen, X. y Yang, L. (2019). Temperature and industrial output: Firm-level evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 95:257–274.
- Dell, M., Jones, B. F., y Olken, B. A. (2009). Temperature and income: reconciling new cross-sectional and panel estimates. *American Economic Review*, 99(2):198–204.
- Dell, M., Jones, B. F., y Olken, B. A. (2012). Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3):66–95.
- Eckstein, D., Künzel, V., y Schäfer, L. (2021). The global climate risk index 2021. Bonn: Germanwatch.
- Feng, S., Krueger, A. B., y Oppenheimer, M. (2010). Linkages among climate change, crop yields and Mexico–US cross-border migration. *Proceedings of the national academy of sciences*, 107(32):14257–14262.
- Fisher, A. C., Hanemann, W. M., Roberts, M. J., y Schlenker, W. (2012). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment. *American Economic Review*, 102(7):3749–3760.
- Galindo, D. (2023). Impacto de los choques climáticos en el rendimiento y precios del arroz paddy verde: Evidencia para Colombia. *Tesis de pregrado*. Departamento de Economía, Universidad del Valle.
- Gallup, J. L., Sachs, J. D., y Mellinger, A. D. (1999). Geography and economic development. *International regional science review*, 22(2):179–232.
- Graff-Zivin, J. y Kahn, M. E. (2016). Industrial productivity in a hotter world: the aggregate implications of heterogeneous firm investment in air conditioning. *NBER Working Papers*. No. w22962. National Bureau of Economic Research.
- Graff-Zivin, J. y Neidell, M. (2014). Temperature and the allocation of time: Implications for climate change. *Journal of Labor Economics*, 32(1):1–26.
- Gray, H. B., Taraz, V., y Halliday, S. D. (2023). The impact of weather shocks on employment outcomes: evidence from South Africa. *Environment and Development Economics*, 28(3):285–305.
- Guiteras, R. (2009). The impact of climate change on Indian agriculture. Manuscript, Department of Economics, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Levinsohn, J. y Petrin, A. (2003). Estimating production functions using inputs to control for unobservables. *Review of Economic Studies*, 70(2):317–342.
- Meierrieks, D. (2021). Weather shocks, climate change and human health. *World Development*, 138:105228.

- Mejia, M. S. A., Mrkaic, M. M., Novta, N., Pugacheva, E., y Topalova, P. (2018). The effects of weather shocks on economic activity: what are the channels of impact? *International Monetary Fund*.
- Melo, S., Riveros, L., Romero, G., Alvarez, A., Diaz, C., y Calderón, S. (2017). Efectos económicos de futuras sequías en Colombia: Estimación a partir del Fenómeno El Niño 2015. *Archivos de Economía*, (466):1–34.
- Mirza, M. M. Q. (2003). Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt? *Climate policy*, 3(3):233–248.
- Nordhaus, W. D. (2006). Geography and macroeconomics: New data and new findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(10):3510–3517.
- Otero-Cortés, A. y Bohorquez-Penuela, C. (2020). Blame it on the Rain: The Effects of Weather Shocks on Formal Rural Employment in Colombia. *Documento de Trabajo sobre Economía Regional y Urbana*, (292).
- Palutikof, J. (1983). The impact of weather and climate on industrial production in Great Britain. *Journal of Climatology*, 3(1):65–79.
- Pankratz, N., Bauer, R., y Derwall, J. (2023). Climate change, firm performance, and investor surprises. *Management Science*.
- Rodrik, D., Subramanian, A., y Trebbi, F. (2004). Institutions rule: the primacy of institutions over geography and integration in economic development. *Journal of economic growth*, 9:131–165.
- Romero, J. V. y Naranjo-Saldarriaga, S. (2024). Weather shocks and inflation expectations in semi-structural models. *Latin American Journal of Central Banking*, 5(2):100112.
- Sachs, J. D. y Warner, A. M. (1997). Sources of slow growth in African economies. *Journal of African economies*, 6(3):335–376.
- Salazar, M. (2017). The Effects of Climate on Output per Worker: Evidence from the Manufacturing Industry in Colombia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (79):55–90.
- Schlenker, W. y Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 106(37):15594–15598.
- Somanathan, E., Somanathan, R., Sudarshan, A., y Tewari, M. (2021). The impact of temperature on productivity and labor supply: Evidence from Indian manufacturing. *Journal of Political Economy*, 129(6):1797–1827.
- Veintimilla-Reyes, J., Espinoza, F. C., Espinoza, E. T., y Pino, J. (2016). Análisis y diseño de una red de comunicación para transmitir información de alerta temprana. Caso de estudio: Proyecto de control de inundaciones Bulubulu-Cañar-Naranjal. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 29(1).
- Wang, S. L., Ball, E., Nehring, R., Williams, R., y Chau, T. (2018). Impacts of climate change and extreme weather on US agricultural productivity: Evidence and projection. In *Agricultural Productivity and Producer Behavior*, pages 41–75. University of Chicago Press.
- Zhang, P., Deschenes, O., Meng, K., y Zhang, J. (2018). Temperature effects on productivity and factor reallocation: Evidence from a half million Chinese manufacturing plants. *Journal of Environmental Economics and Management*, 88:1–17.